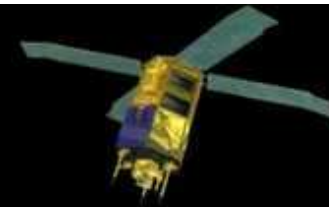


Veekaugseire



Krista Alikas

alikas@ut.ee

17 märts 2009



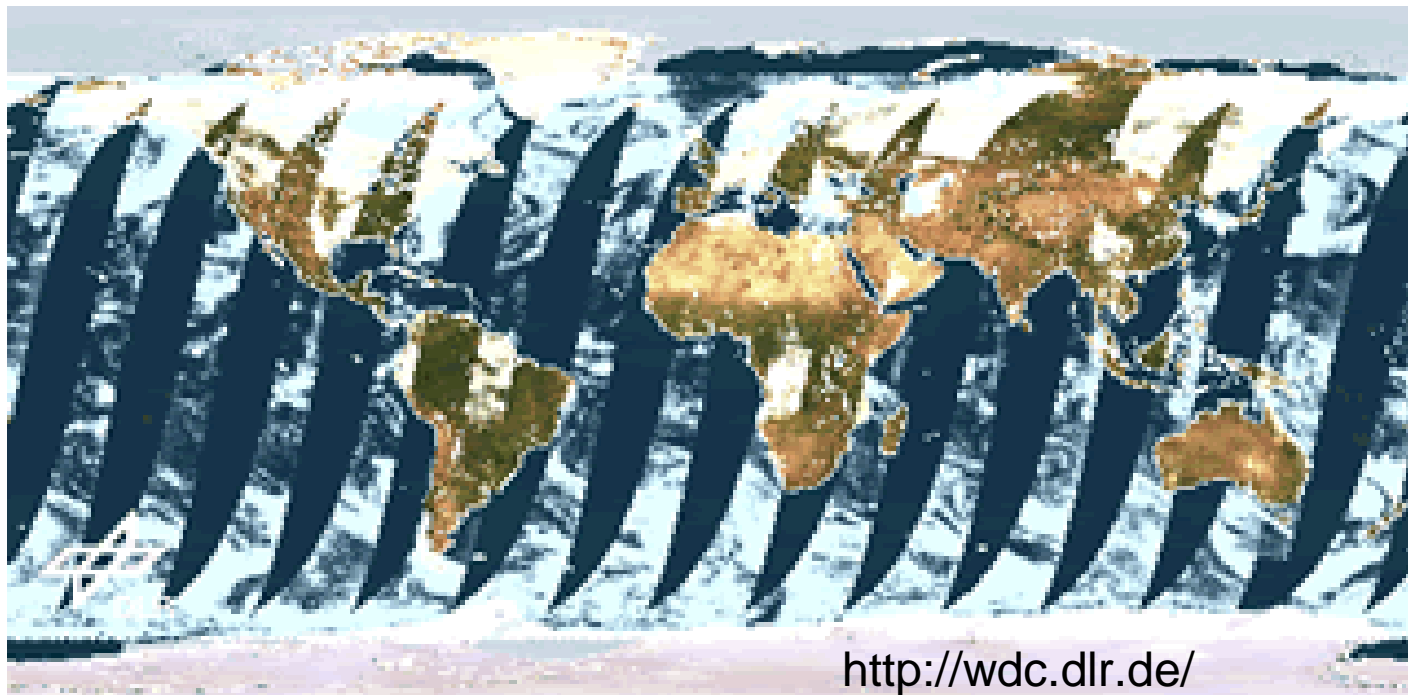
Euroopa Liit
Euroopa Sotsiaalfond



Eesti tuleviku heaks

Vee värvuse missioonid

Veekogu ökoloogiline seisund
Inimmõju hindamine keskkonnale
Veemasside liikumised



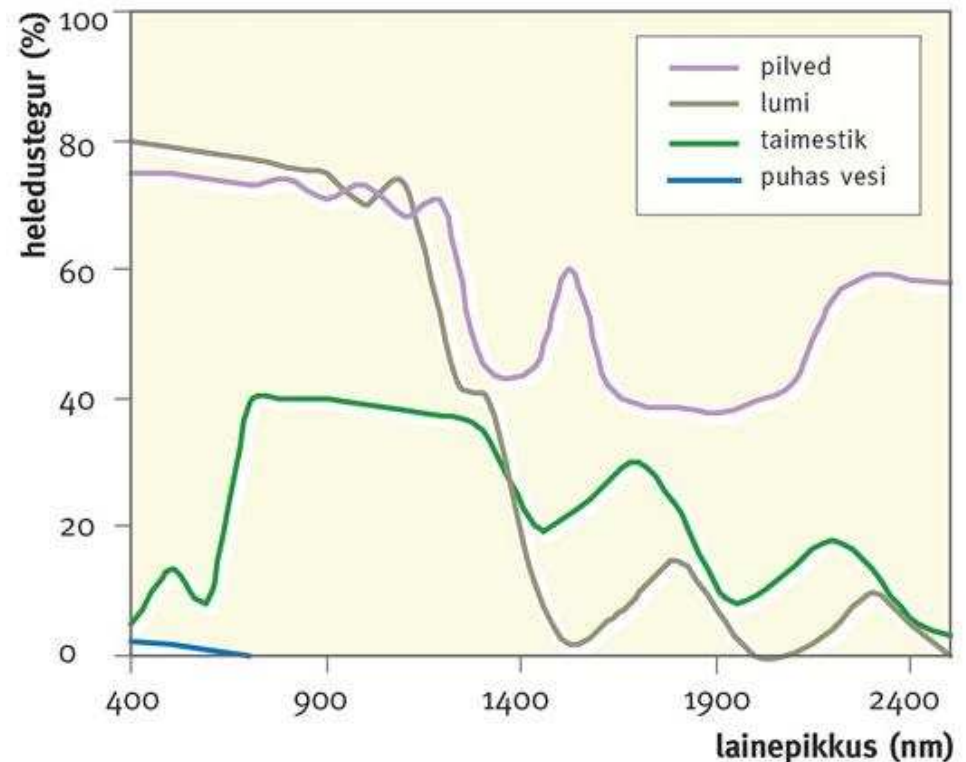
Keskkonna kaugseire

Neljas loeng: veekaugseire

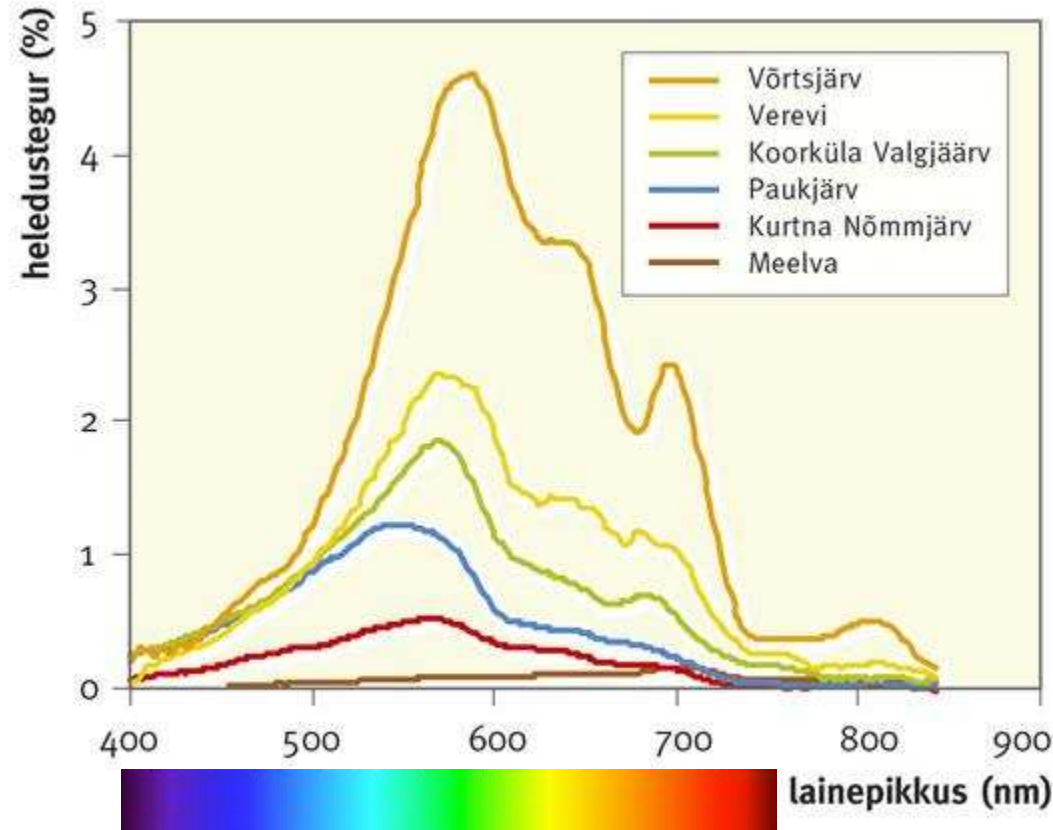
- Veekaugseire iseärasused
- Veekogude optiline klassifikatsioon
- Optilise kaugseire rakendusi
- Veesensorid

Veekaugseire iseärasused:

- kasutatav vaid nähtav ja lähisinfrapunane spektripiirkond
- vee *heledustegur* on võrreldes maa heledusteguriga kümneid kordi väiksem
- satelliidilt mõõdetav signaal on palju mõjustatud atmosfäärist.
- oluline teada andmeid atmosfääri optilise seisukorra kohta!

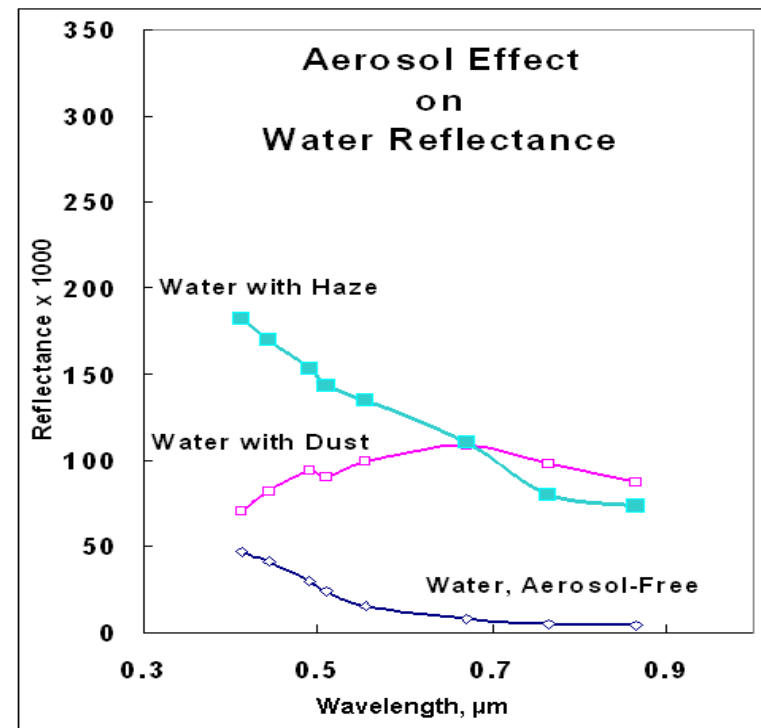
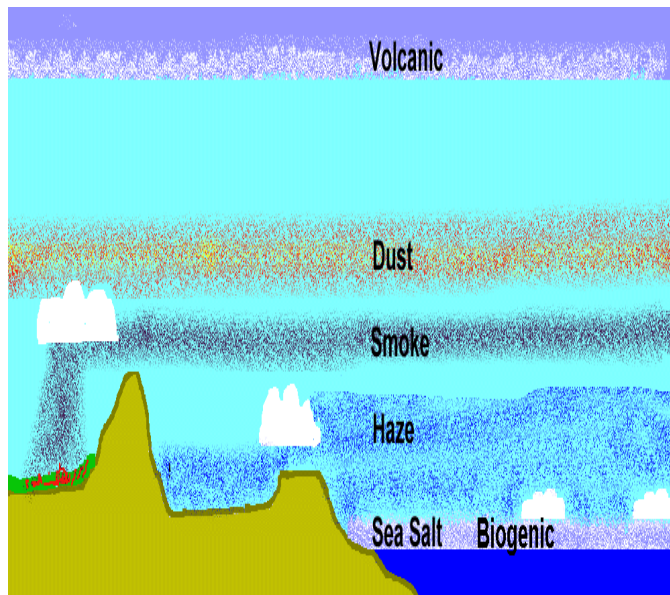


Vee heledustegur on passiivse ehk looduslikku kiirgust kasutava optilise kaugseire peamine uuritav näitaja.



Joonis. Vee heledustegurid kuues Eesti järves
(mõõtnud Antti Herlevi, Helsinki ülikool).

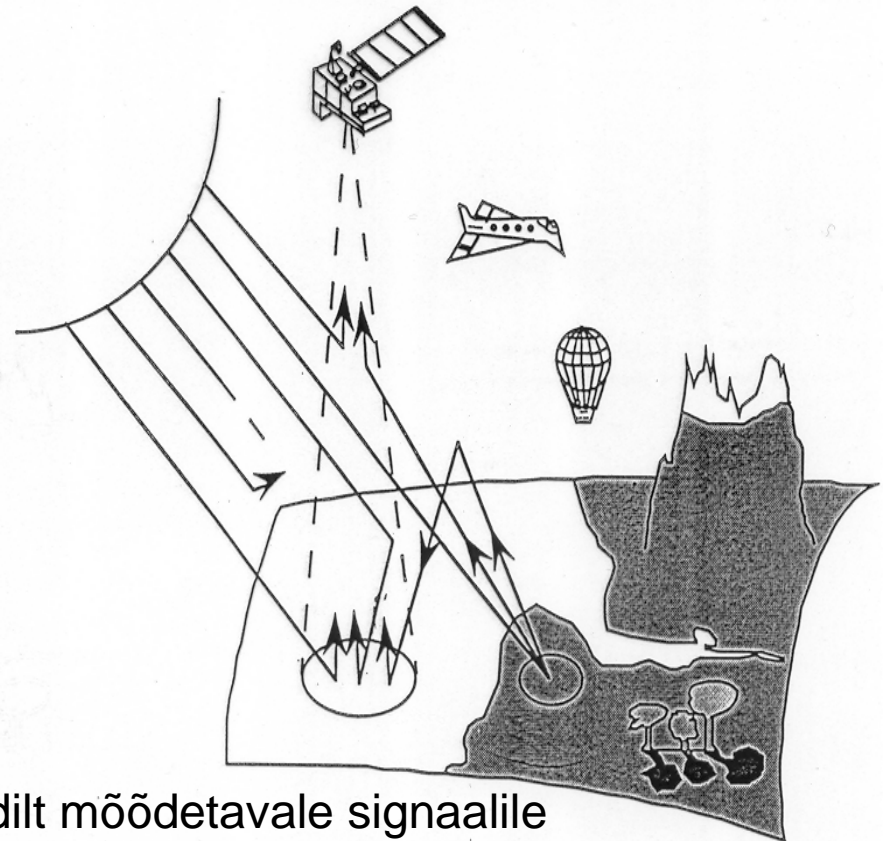
Aerosooli mõju peegeldumisele veepinnalt



From: Physically Based Aerosol Models for Atmospheric Correction Algorithms by Rudolf B. Husar

Veekaugseire iseärasusi:

- Ookeanide ja suurte merede puhul ei ole eriti tähtis **naabrusefekt**, sest naabruses on samasugune tume ala.
- Selle olulisus tuleb esile rannikumerede ja järvede, eriti väikeste järvede korral.



Joonis. Atmosfääri ja naabruse mõju satelliidilt mõõdetavale signaalile

Vee kaugseire iseärasusi:

- Ruumilise, spektraalse ja radiomeetrilise lahutusvõime tähtsus
- Protsessid on kiiresti muutuvad nii ajaliselt kui ruumiliselt ja raskesti fikseeritavad
- Rannikumere ja järvede puhul:
 - Optiliselt aktiivsete ainete sisaldused vees on teineteisest sõltumatud ning varieeruvad suurtes piirides
 - madala vee puhul on põhja mõju tuntav

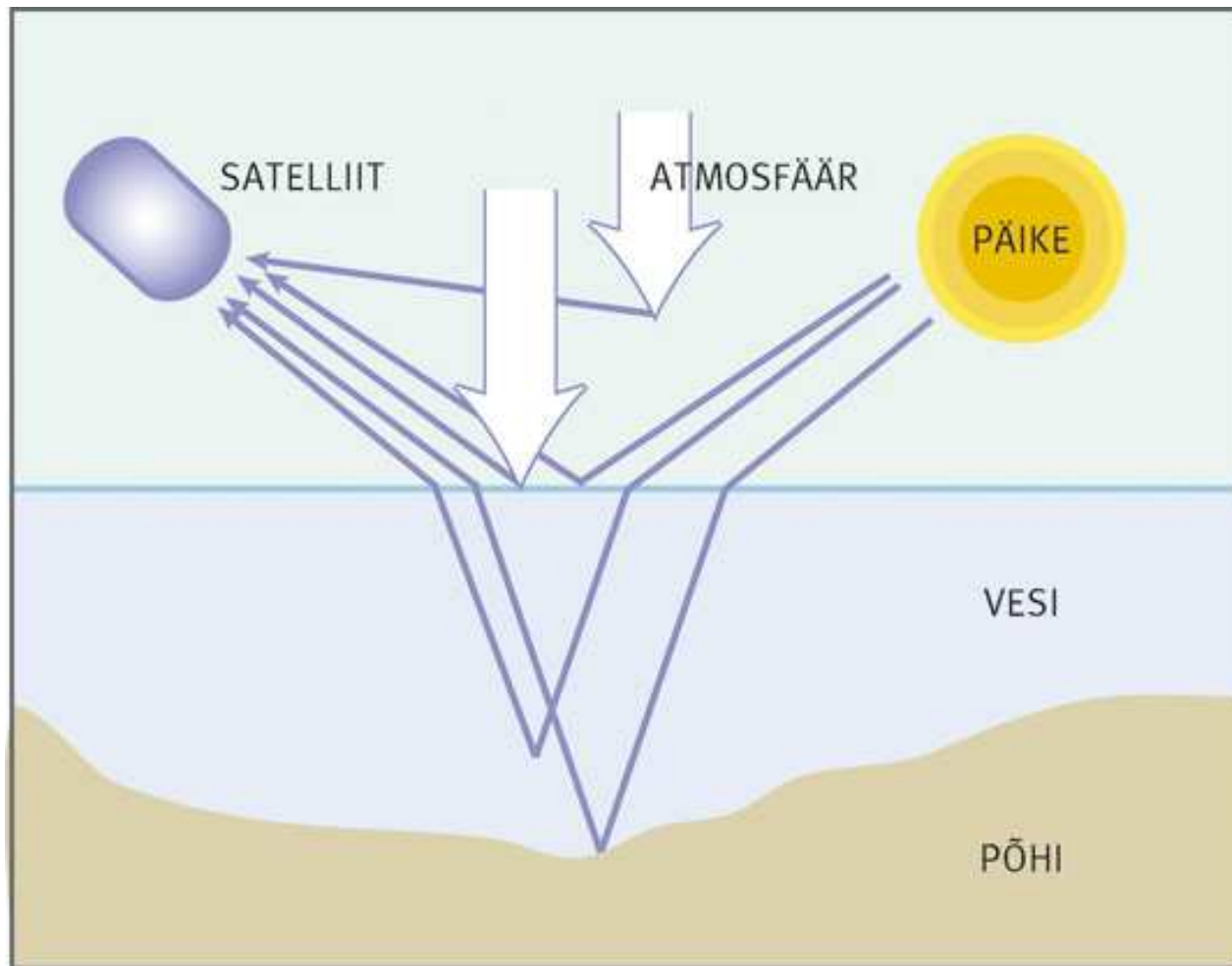
Veekogude optiline klassifikatsioon

- Case I
 - Optilisi omadusi mõjutab lisaks veele fütoplankton ning selle elutegeveuse tagajärjel tekkinud laguproduktid
 - Lähis IP lainealas vesi näib mustana – vesi on puhas ning puuduvad kiirgust hajutavad osakesed
 - Suhteliselt kerge atmosfäärikorreksioon
- Case II
 - Optilisi omadusi mõjutab lisaks veele mitu teineteisest sõltumatut komponenti
 - Määramispiirid erinevad vastavalt veetüübile suurtes piirides
 - Tagasihajumist põhjustavad mineraalse hõljumi osakesed raskendavad atmosfäärikorreksiooni

Optilise kaugseire rakendusi:

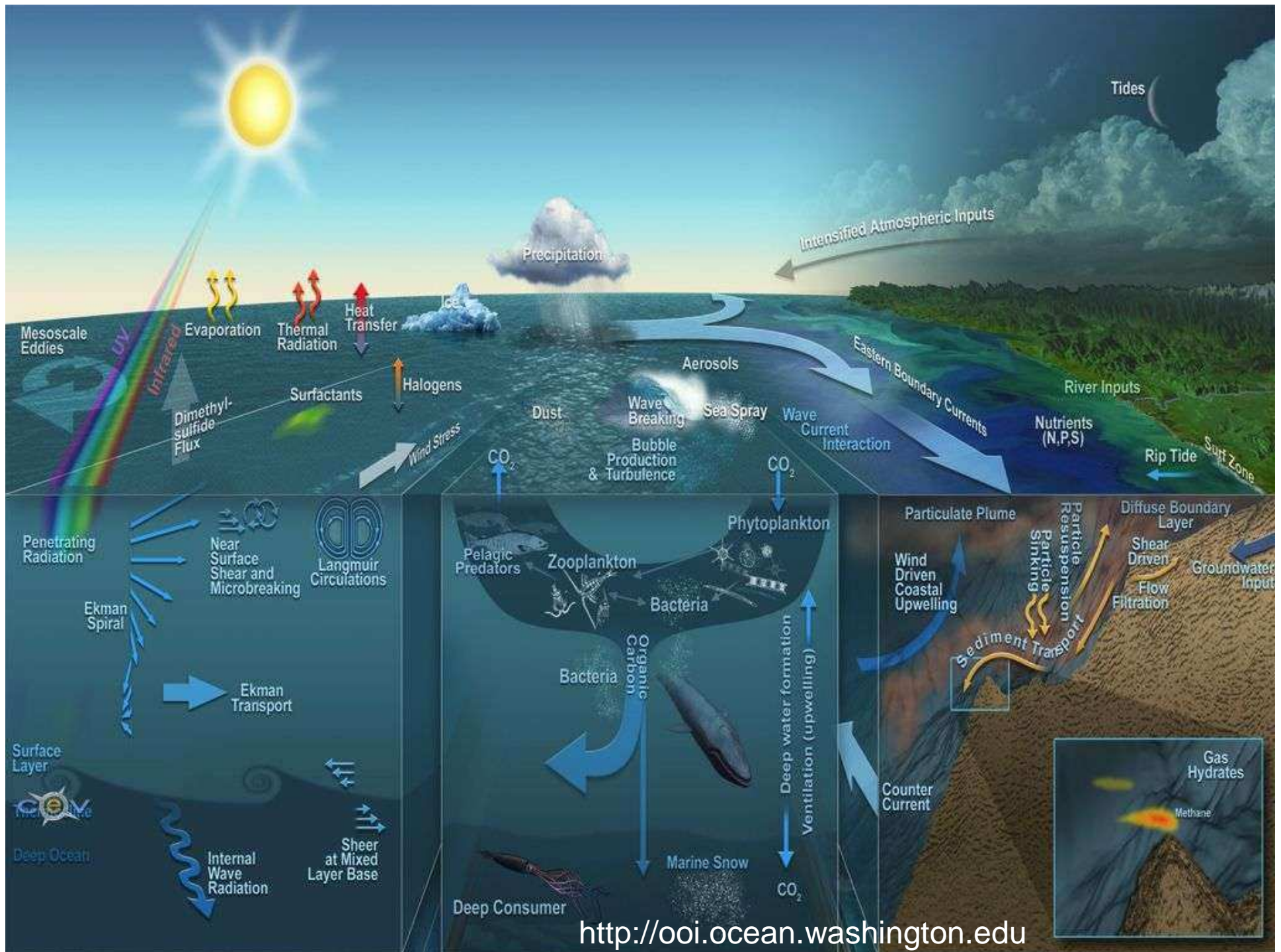
- Veekogude ökoloogilise seisukorra hindamine:
 - Klorofüllisisalduse hindamine.
 - Vetikate 'õitsemise' avastamine
 - Orgaanilise ja anorgaanilise hõljumi hindamine
- Järvede pindala muutumine (Araali meri), jõgede üleujutused
- Vee temperatuuri kui olulise faktori hindamine, anomaaliate uurimine
- Veetaimestiku olemasolu ja hulk
- Jääolude kaardistamine

Kiirguse levimine vees



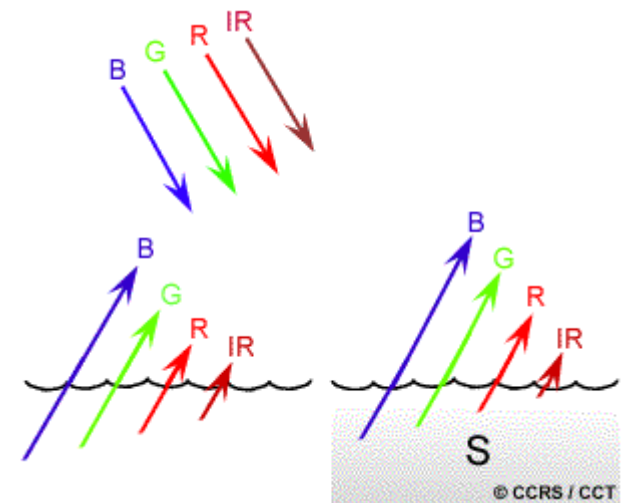
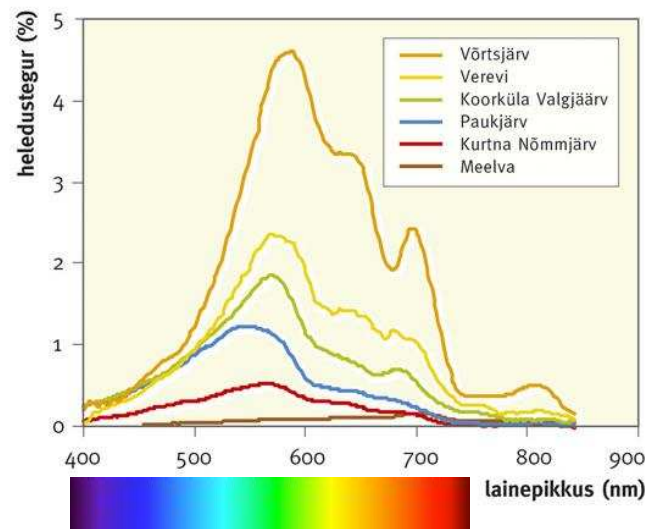
Päikesekiirguse peegeldumine veekogudelt oleneb

- Peegeldumine vahetult veepinnalt (lainetus, vaht).
- Päikese kõrgus ja vaatesuund
- Veest lahkuv kiirgus oleneb
 - Vees olevatest optiliselt aktiivsetest ainetest
 - Vee sügavus ja madalas vees põhja neeldumismadused

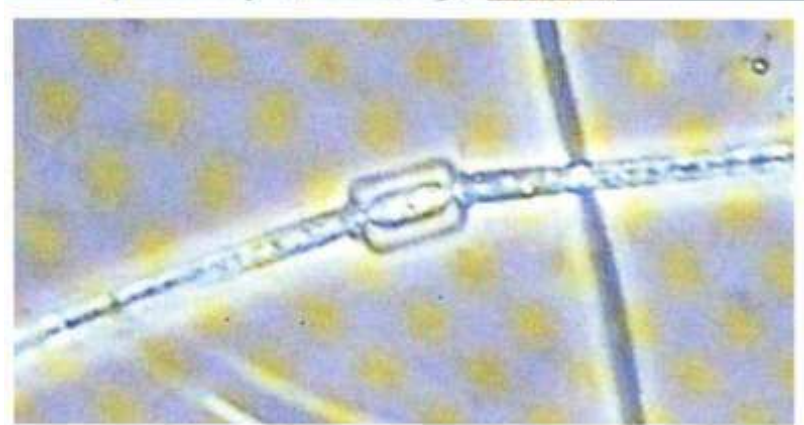
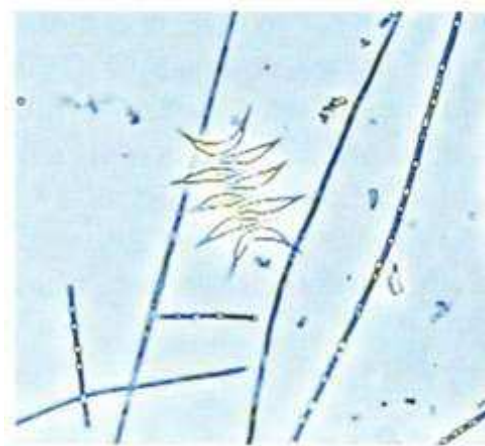
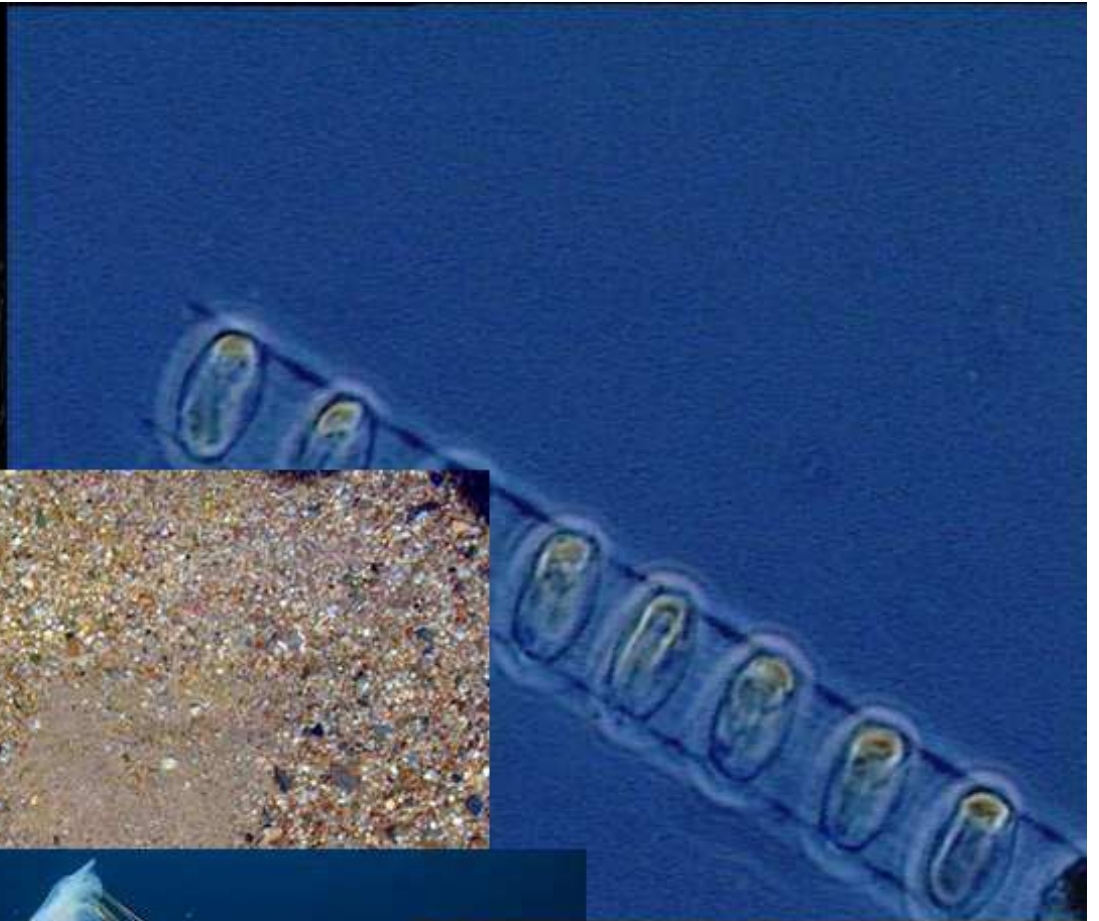
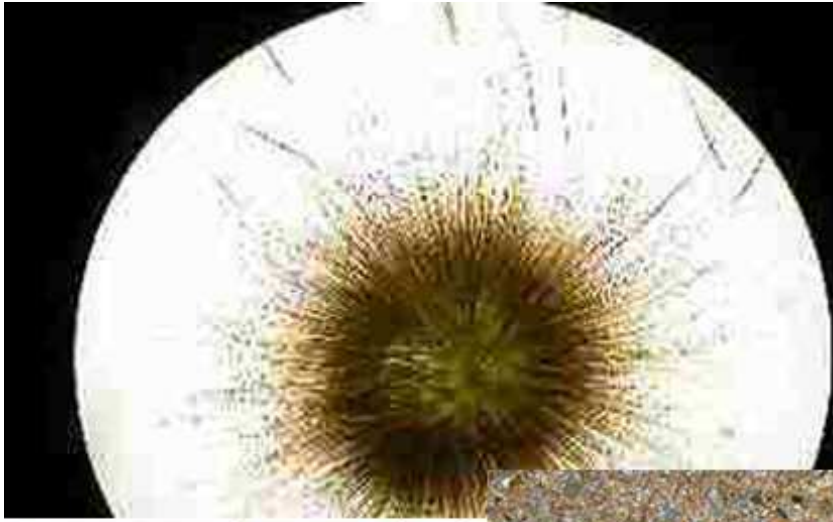


Mis annab veele värvuse?

- Vee puhul kasutatav nähtav ja lähi IP lainela
- Vesi neelab pikemad lainepikkused, heledusteguri maksimum sinises spektrialas
- Optiliselt aktiivsete ainete lisandusmisel veesambasse toimuvad seal kiirguse hajumine ja neeldumine.



<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/>



Aphanizomenon skujae.

Vesi kui kiirgust neelav ja hajutav keskkond

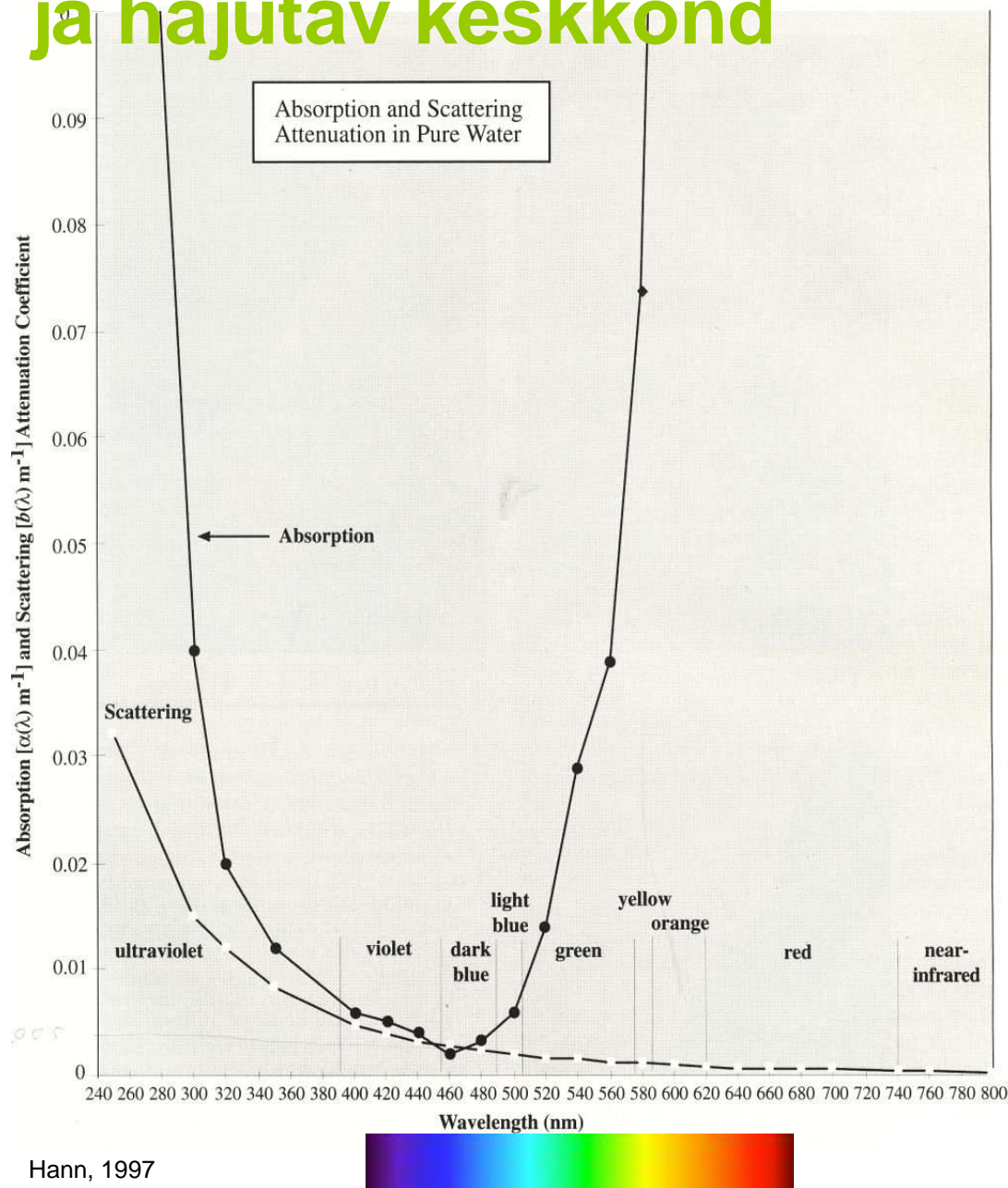
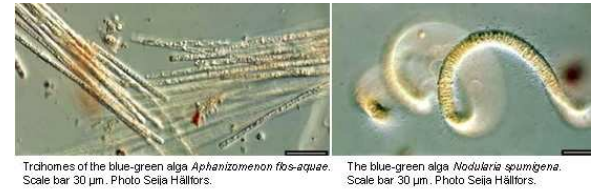


Table 11-1. Optical Properties of Pure Water (derived from various sources by Bukata et al., 1995)

Wavelength (nm)	Absorption $\alpha(\lambda)$ (m^{-1})	Scattering $\beta(\lambda)$ (m^{-1})	Total Attenuation $c(\lambda)$ (m^{-1})
250 – ultraviolet	0.190	0.032	0.2200
300 – ultraviolet	0.040	0.015	0.0550
320 – ultraviolet	0.020	0.012	0.0320
350 – ultraviolet	0.012	0.0082	0.0202
400 – violet	0.006	0.0048	0.0108
420 – violet	0.005	0.0040	0.0090
440 – violet	0.004	0.0032	0.0072
460 – dark blue	0.002	0.0027	0.0047
480 – dark blue	0.003	0.0022	0.0052
500 – light blue	0.006	0.0019	0.0079
520 – green	0.014	0.0016	0.0156
540 – green	0.029	0.0014	0.0304
560 – green	0.039	0.0012	0.0402
580 – yellow	0.074	0.0011	0.0751
600 – orange	0.20	0.00093	0.2009
620 – orange	0.24	0.0082	0.2408
640 – red	0.27	0.00072	0.2707
660 – red	0.310	0.00064	0.3106
680 – red	0.38	0.00056	0.3806
700 – red	0.60	0.0005	0.6005
740 – near-infrared	2.25	0.0004	2.2504
760 – near-infrared	2.56	0.00035	2.5604
800 – near-infrared	2.02	0.00029	2.0203

Fütoplankton (klorofüll ja karotinoidid)



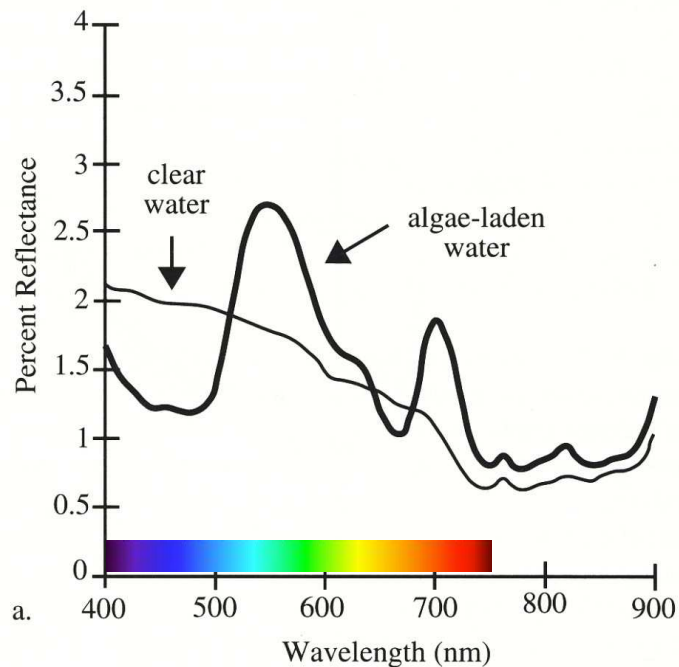
- Fütoplanktoni rakud ja kolooniad eksisteerivad erineva kuju ja suurusega.
 - rakkude värvus sõltub neis sisalduvate pigmentide hulgast ning koostisest.
- Põhilised fotosünteesi protsessis osalevad pigmendid on klorofüll, karotinoidid ning fükobilliinid.
- Esimesed kaks on olemas kõigis vetikates, fükobilliinid aga sinivetikates ning dinoflagellaatides.



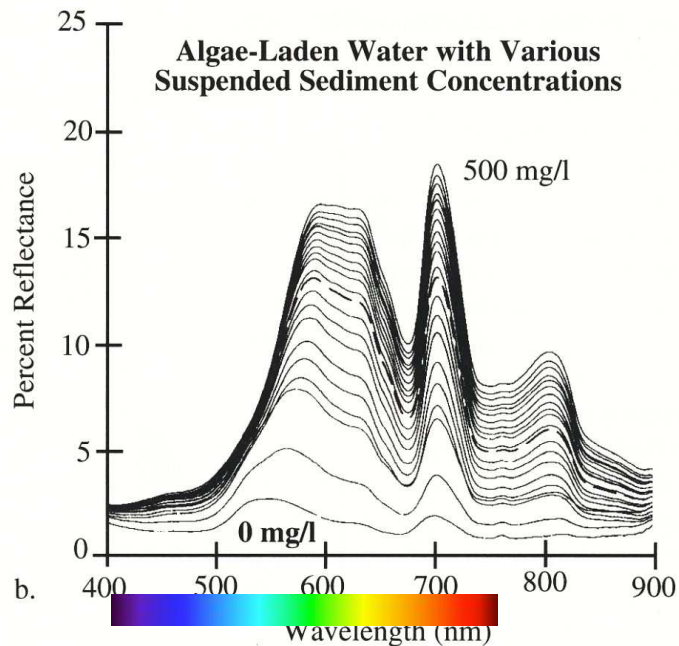
The blue-green alga *Anabaena flos-aquae*.
Scale bar 15 µm. Photo Seija Hällfors.



The blue-green alga *Anabaena lemmermannii*.
Scale bar 15 µm. Photo Seija Hällfors.



- Klorofülli lisandumisega kaasneb
 - vee heleduse kasv, mis on väiksem klorofülli neeldumispiirkonnas.



- Peamine valguse neelamine toimub
 - spektri lühematel l-p-l (sinises, 440 nm);
 - vähemal määral pikemate l-p-l (punases, 675 nm) juures



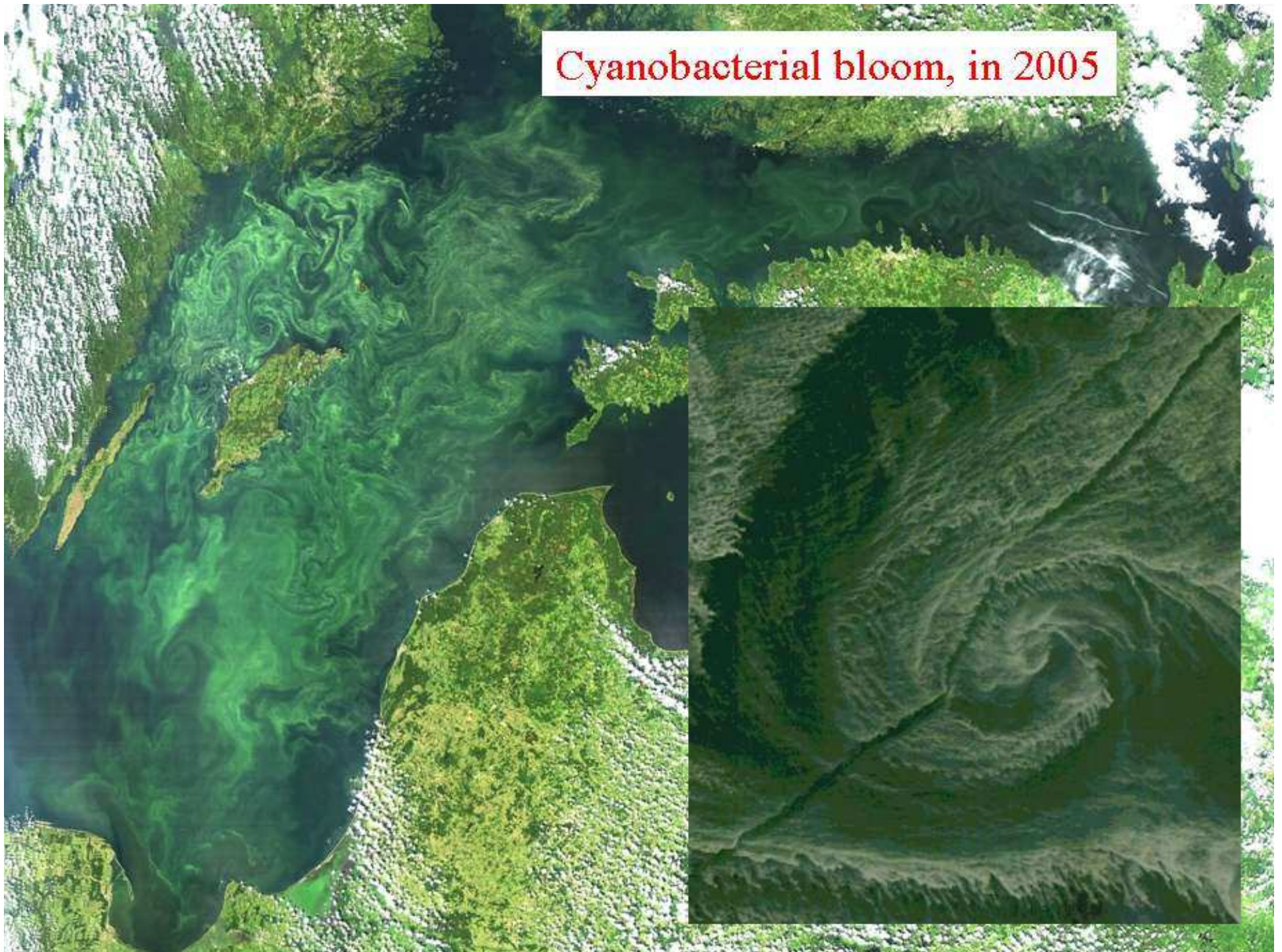
Vetikate “õitseng”



- Kui vetikate kasvuks on tingimused soodsad
 - piisavalt soojust,
 - valgust;
 - kasvuks vajalikke toitaineid,hakkavad vetikad paljunema liiga kiiresti.
- Tagajärg:
 - Halveneb veekogu valguskliima (võib muutuda läbipaistmatuks)
 - Vetikad eritavad rakust mürgised aineid
 - Lagunedes tarbib vetikate mass suurema osa vabast hapnikust vees, mis võib põhjustada hapnikupuudust
 - Mõjutatud saab kogu veekogu elustik
- Vee õitsengud on eutrofeerumise esimesi märke



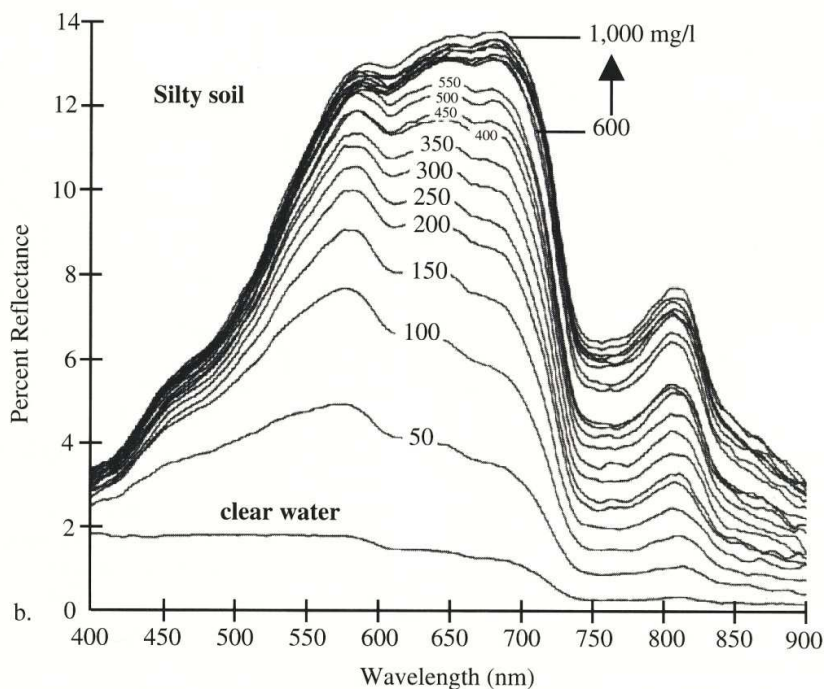
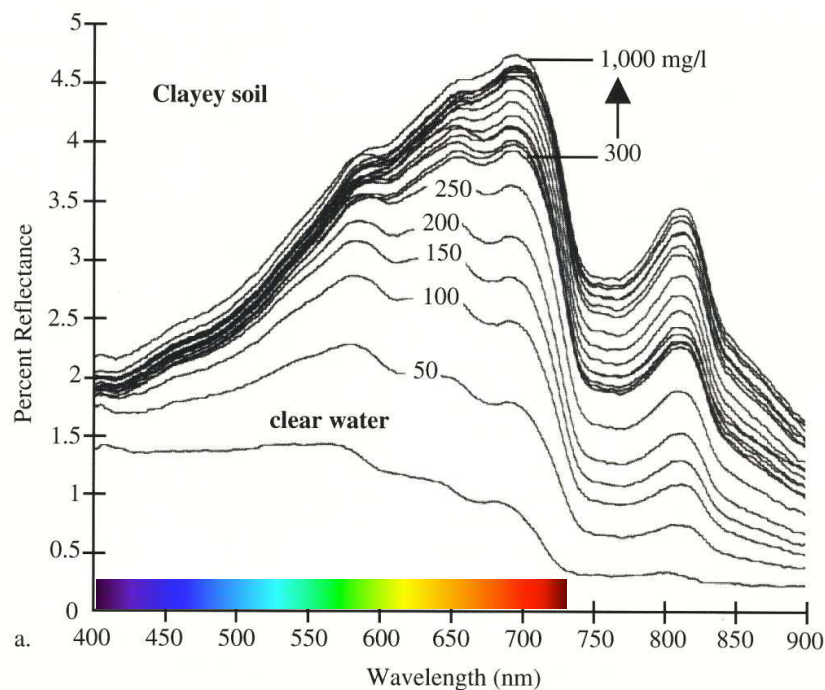
Cyanobacterial bloom, in 2005



Mineraalne hõljum

- Erineva suurusjaotusega (3-250 μm) osakesed
 - alates peeneteralistest saviosakestest kuni jämedateralise liivani.
- Leidub enam siseveekogudes ning rannikuäärsetel aladel,
 - põhilisteks allikateks on põllumajandusmaadest, rannajoonest ja kivide murenemisest tulenev erosioon ning sissekanne jõgede veega
- Mõjutab veekogu ökoloogilist seisundit, kuna:
 - Võib esineda suurtes hulkades,
 - kahandab oluliselt vee läbipaistvust ning kvaliteeti, olles pestitsiidide, neeldunud fosfori ja lämmastiku kandjaks ning võimaliku reostuse näitajaks.





- Kui hõljuvainete kontsentratsiooni kasvab:
 - kasvavad ka kõigis lainepikkustes veepinna heledusteguri väärtused;
 - spektri maksimum liigub pikemate lainepikkuste suunas;
 - spektri tipud muutuvad laiemaks.
 - Heledusspektris esinevad tõusud 580-690 nm ning lähisinfra punases alas seda enam, mida rohkem on neis mineraalset ainet (Jensen, 2000)
- Heledustegur sõltub oluliselt:
 - sette tüübist
 - osakeste suurusest ja värvusest
 - päikese kõrgusest ja vaatesuunast
- Parimaks peetakse spektri piirkonda 700-800 nm

Tavaliselt esinevad hõljum ja vetikad koos

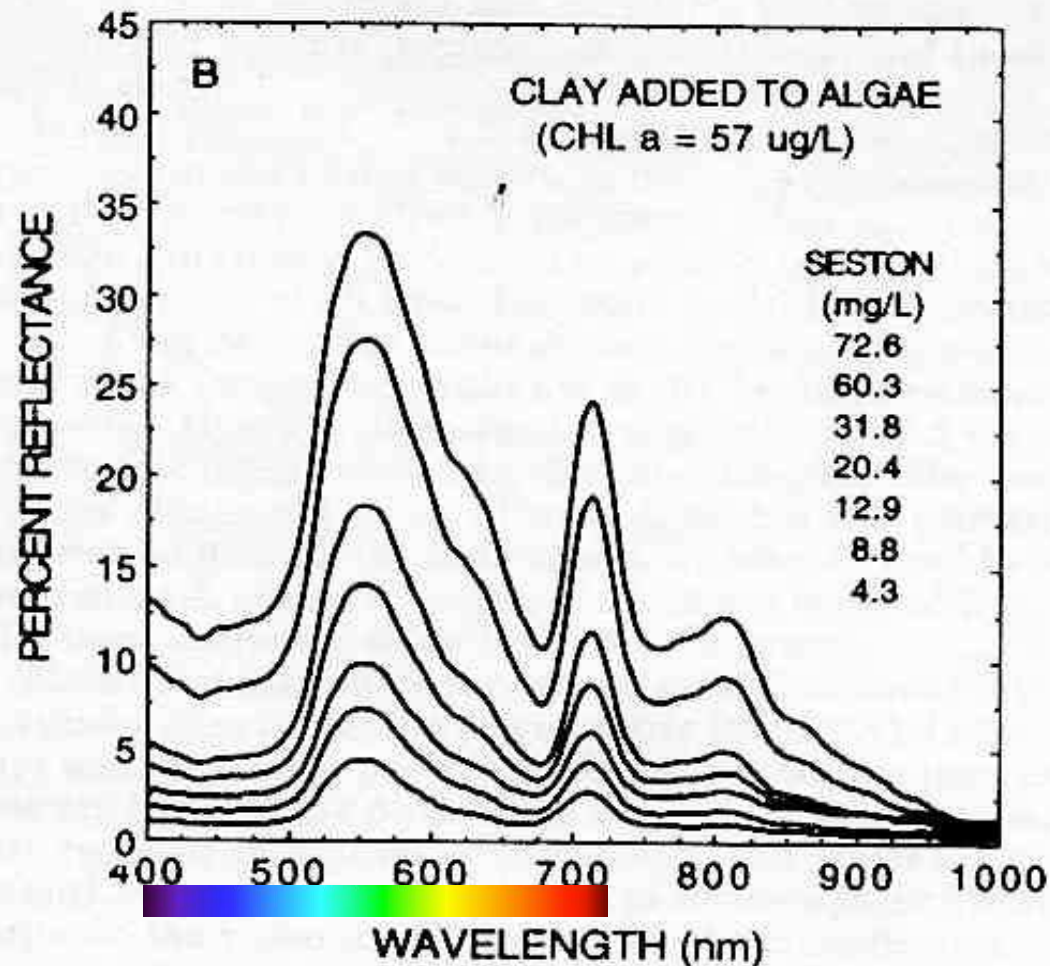


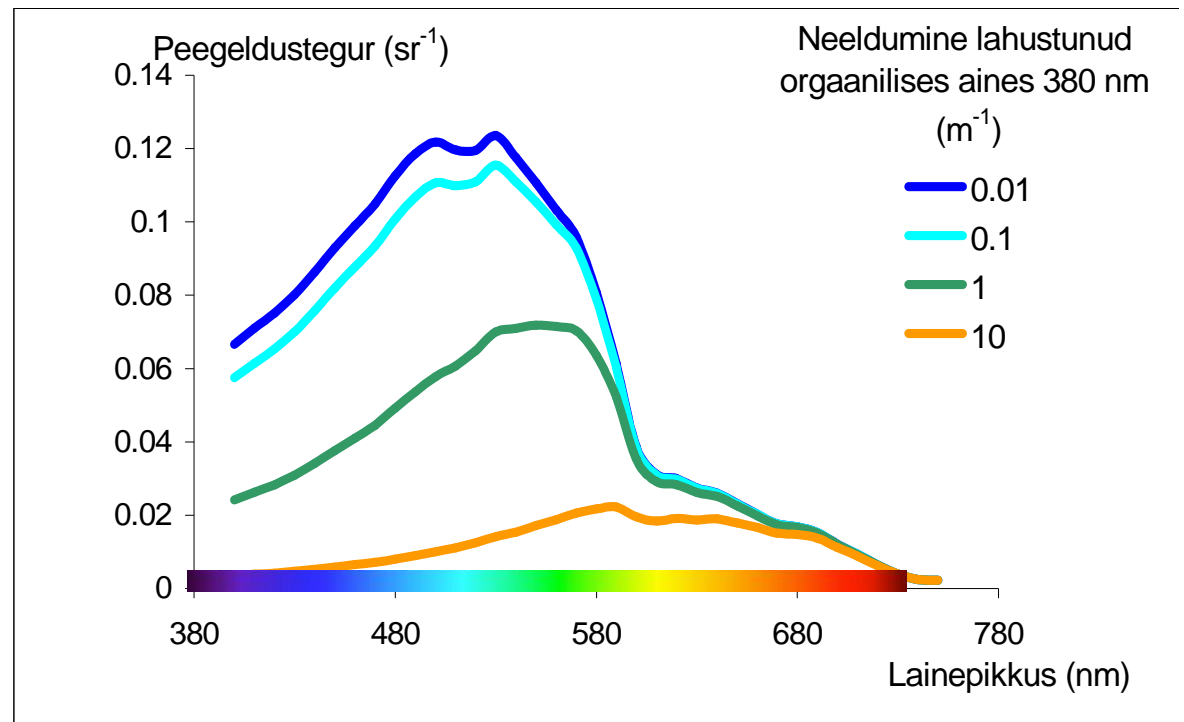
Figure 3. Relative contributions of chlorophyll and suspended sediment to a reflectance spectra of surface water. Based on *in situ* laboratory measurements made 1 m above the water surface by Schalles *et al.* (1997).

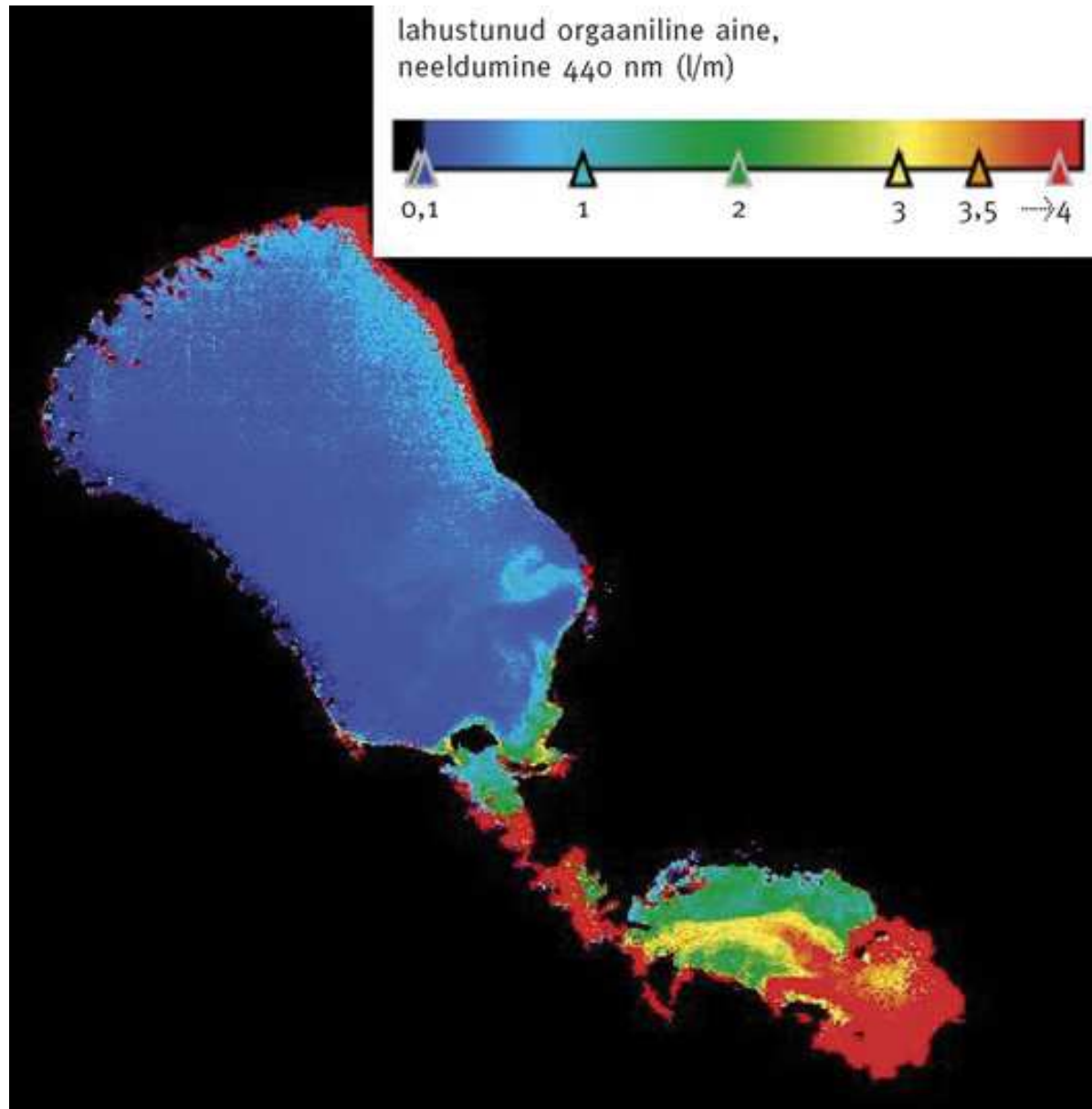
- Nende koosmõju tulemusena on raske kasutada laia spektraalse ribaga skannerite (Landsat ja SPOT) mõõtmisandmeid
- Märksa paremini töötavad kitsa ribaga skannerid
- Sageli on probleemiks ka vähene radiomeetriline lahutus

Lahustunud orgaaniline aine

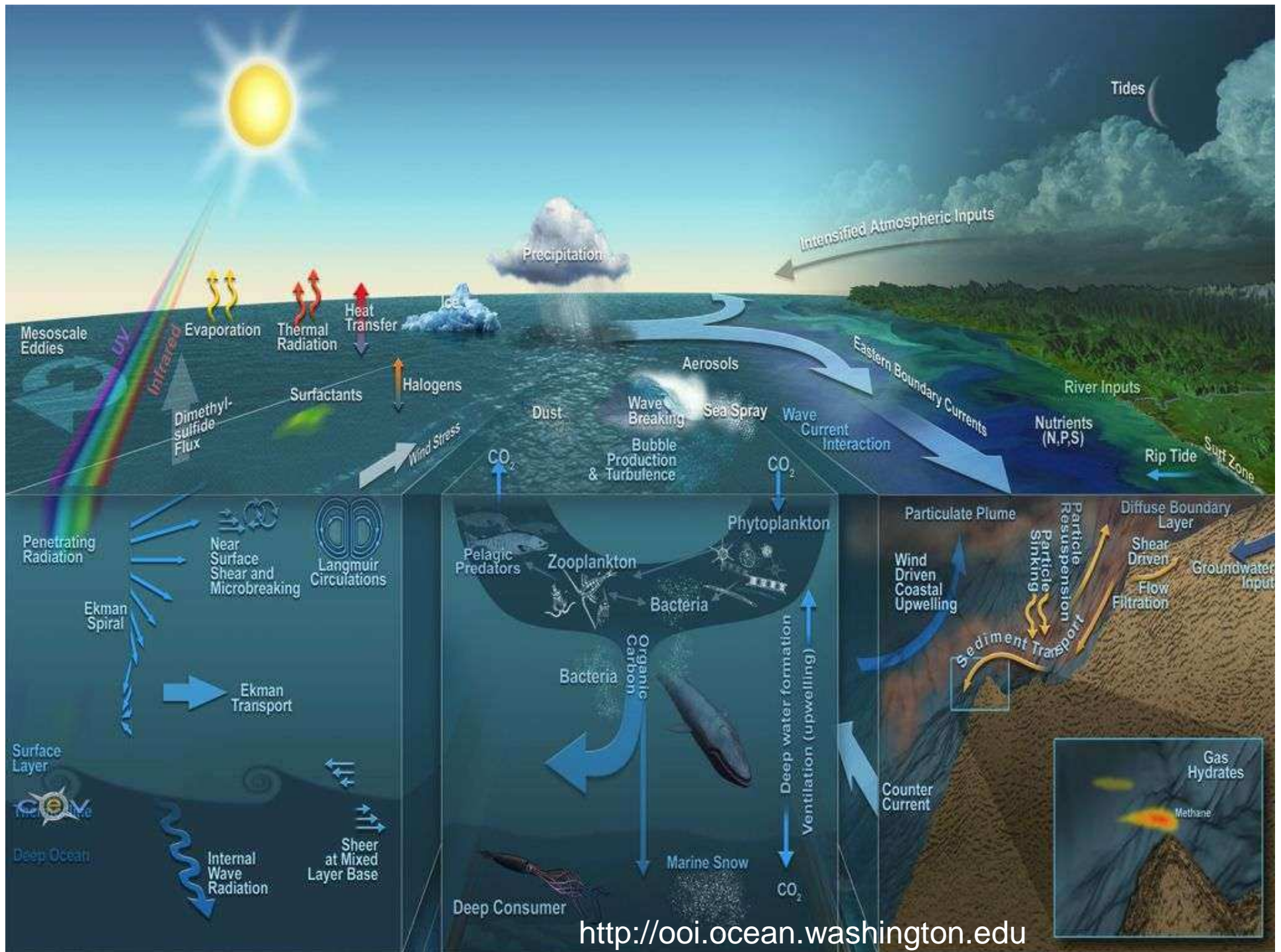
- Allikaks otsene sissekanne maapealsetest allikatest (pinnasest) või tekib laguproduktina fütoplanktoni elutegevuse tagajärjel
- Vees lahustunud orgaanilist ainet (ingl. k. *coloured dissolved organic matter*) nimetatakse sageli ka kollaseks aineks (*yellow substance, gelbstoff*).

- Mõjutab veesambas toimuvat kiirguse neeldumist ja hajumist ning vee värvust, sest neelab peamiselt spektri sinises osas.





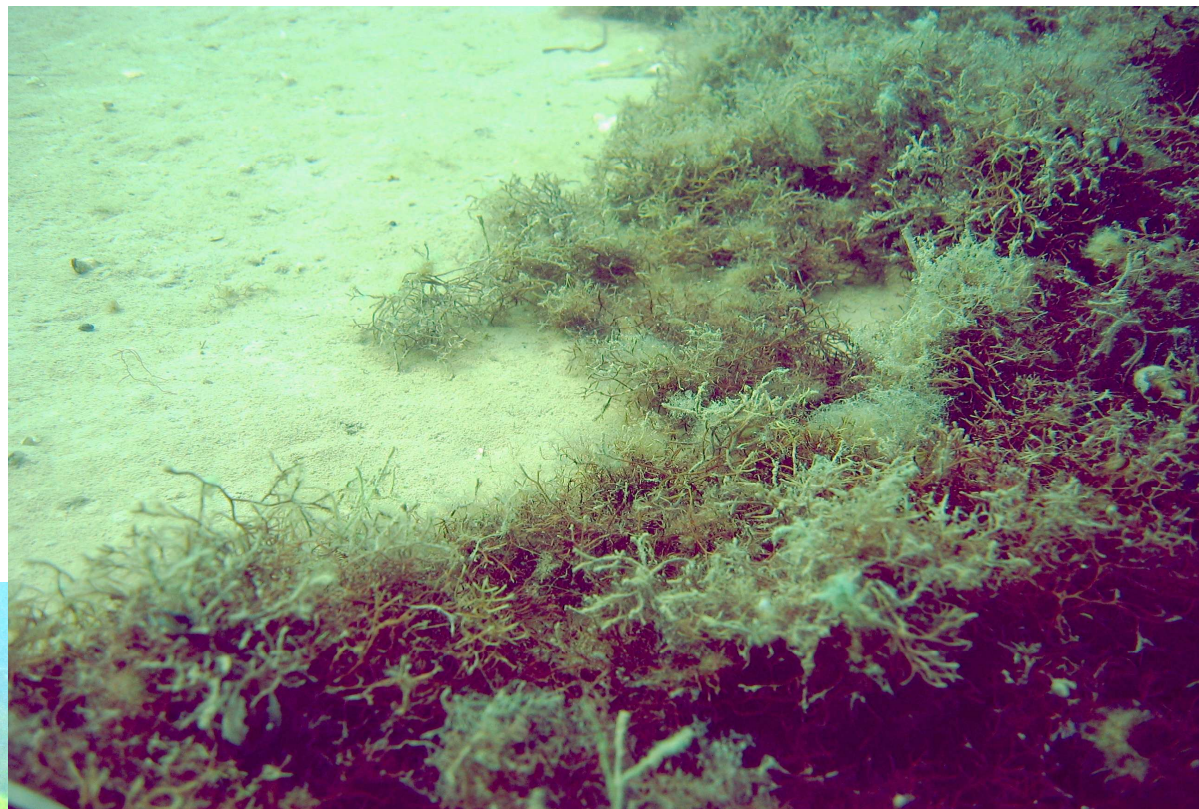
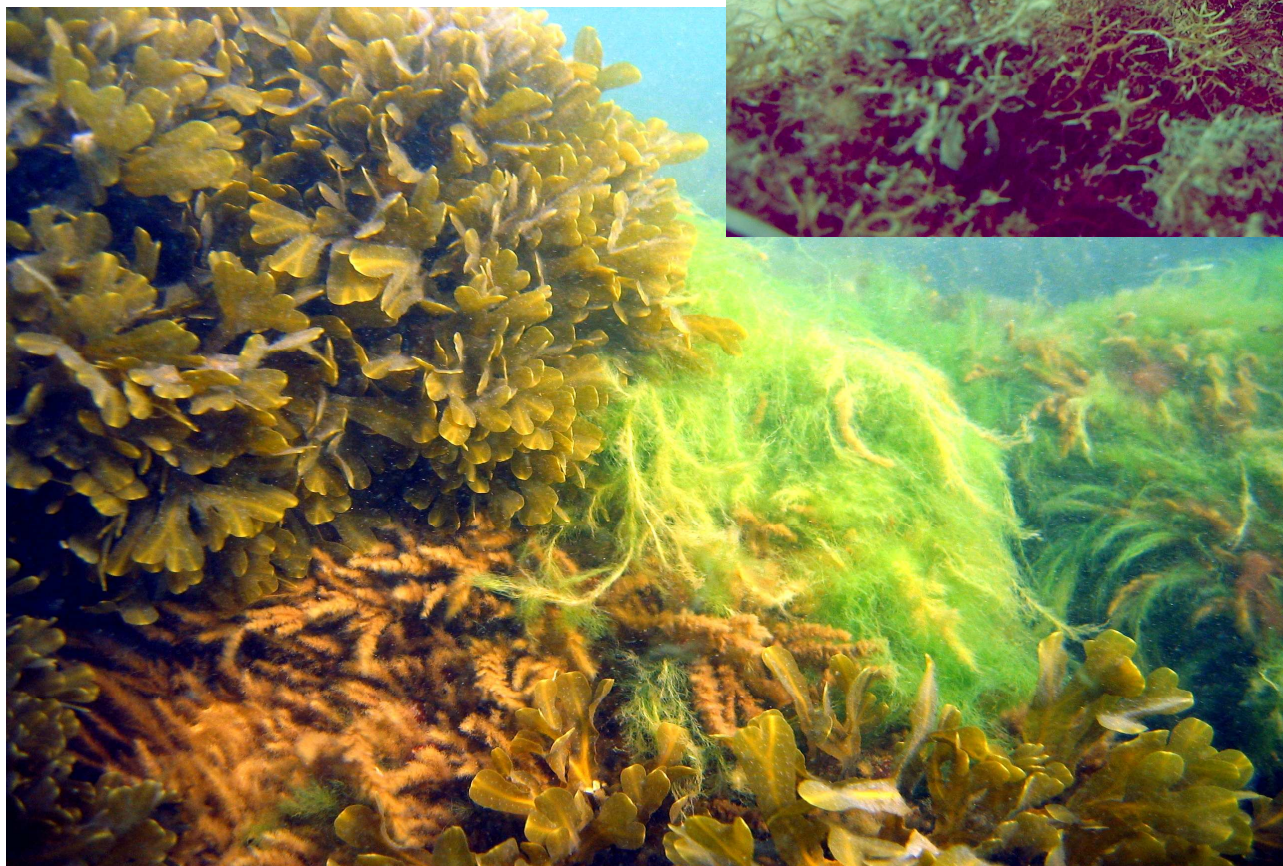
Lahustunud
orgaanilise aine
jaotus Peipsi järves
MERISE 300-
meetrise lahutusega
kujutise põhjal
(8. juunil 2003).



Veekogu sügavuse määramine

- Vee läbipaistvus on suurim 480 nm lainelas
- Veepõhja kaardistamiseks 440 – 540 nm piirkonnas tohib vees olla suhteliselt vähe orgaanilist ja mineraalset ainet → võivad muuta sensorile põhja ebaselgeks või nähtamatuks.
- Väga puhta vee korral võib läbipaistvus ulatuda 10-30 meetrini

Põhjataimestik Läänemeres (T.Kutser, EMI)

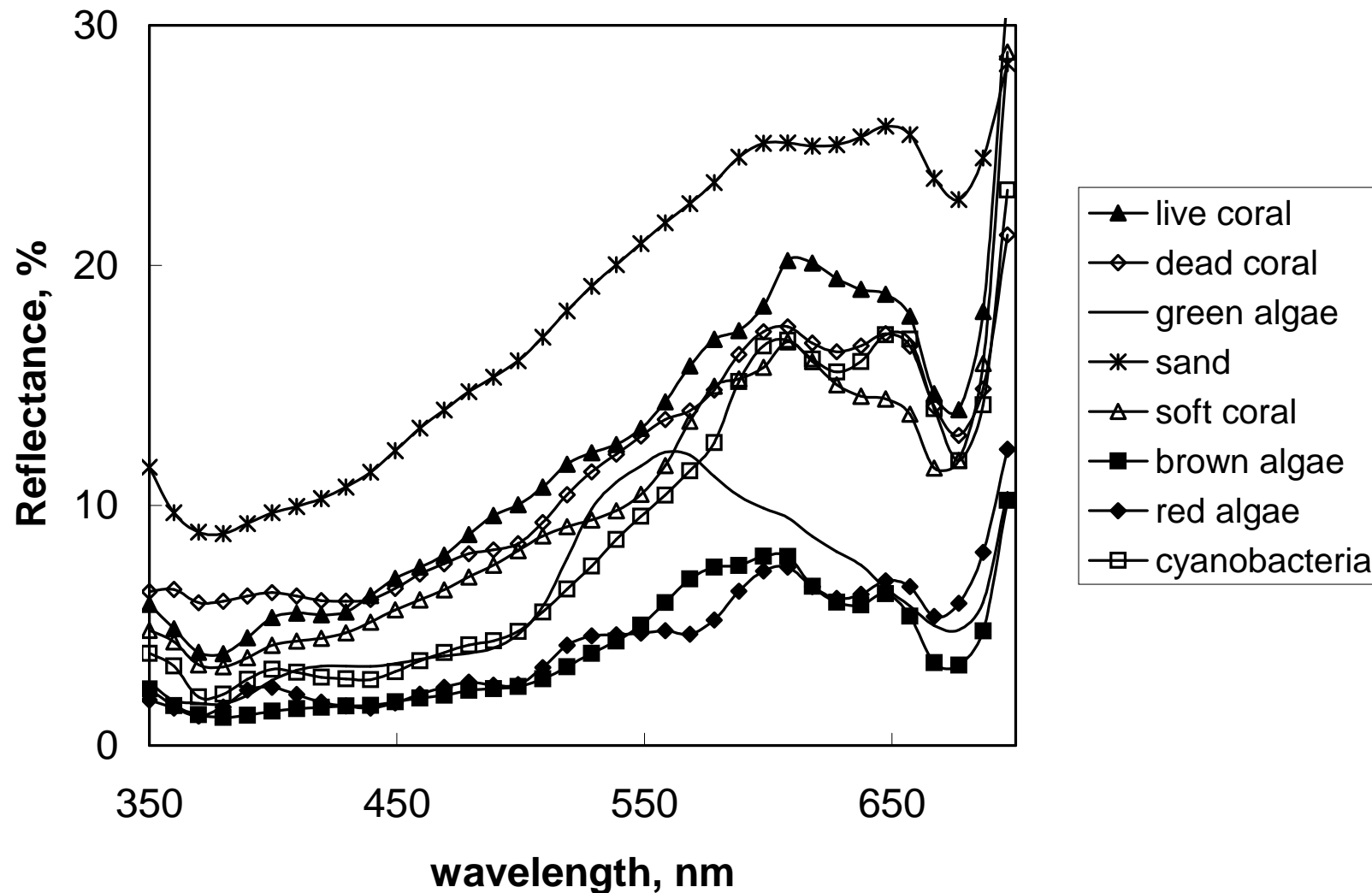


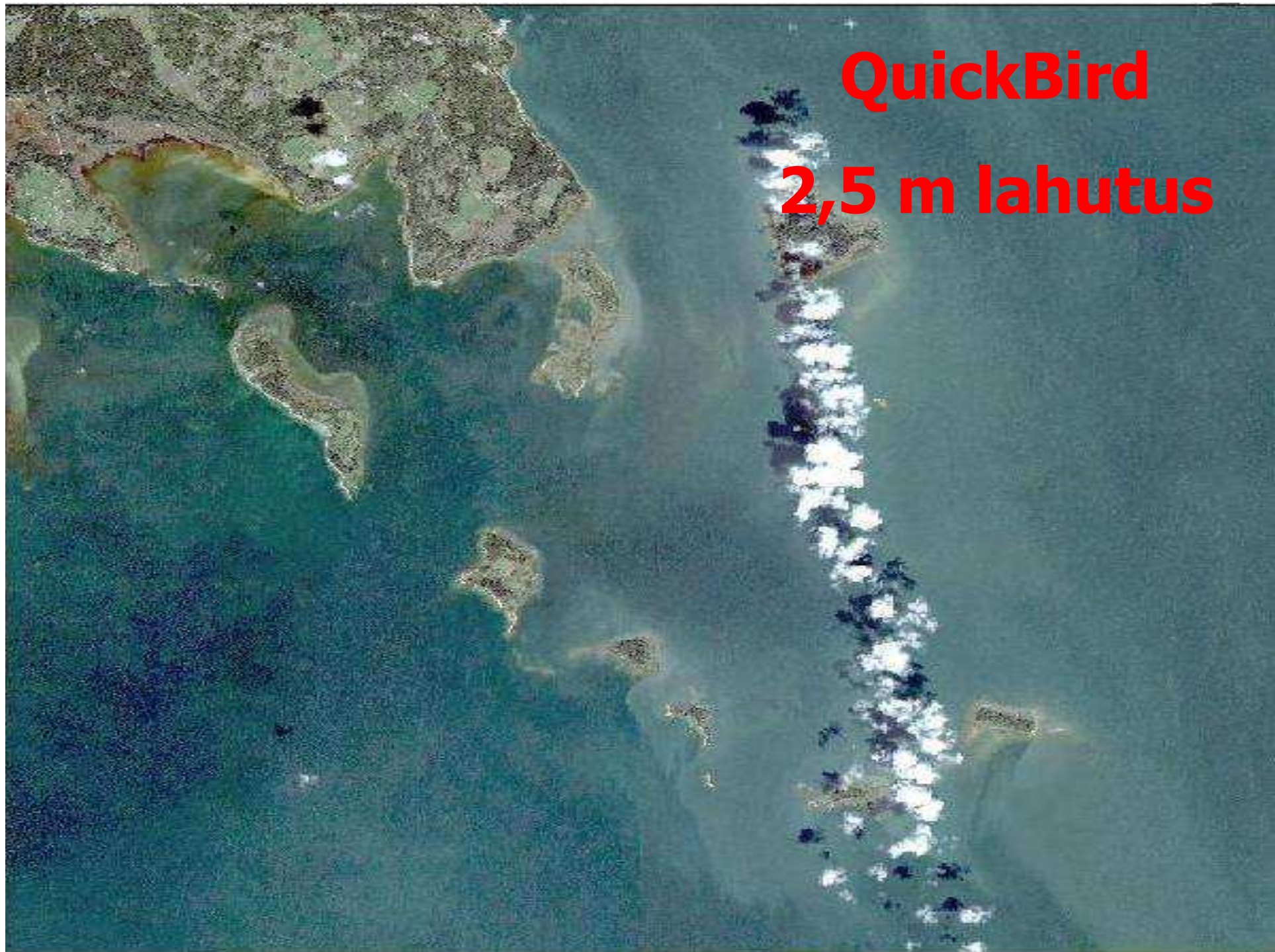
Kõrgemad **veetaimed**, nn. makrofüüdid

- Mitu aspekti
 - märgalade taimestiku hindamine
 - veekogude kinnikasvamise ja vee 'umbrohtude' hindamine (vesi-hüatsint *Eichhornia crassipes* ja hüdrilla *Hydrilla verticillata*)
- Veetaimestiku mõju veepinna peegeldusomadustele oleneb *taimelehtede katvusest ja nende paiknemisest* (pinnal või vee sees), veidi ka taimeliigist.
 - Olulised muutused just lähedases infrapunases osas, sest seal on suur kontrast taimelehe ja vee peegeldusomaduste vahel.

Madalas vees oluline ka põhja mõju

Erinevate merepõhja tüüpide *in situ* mõõdetud
heleduskoefitsientide spektrid (Kutser jt. 2004)

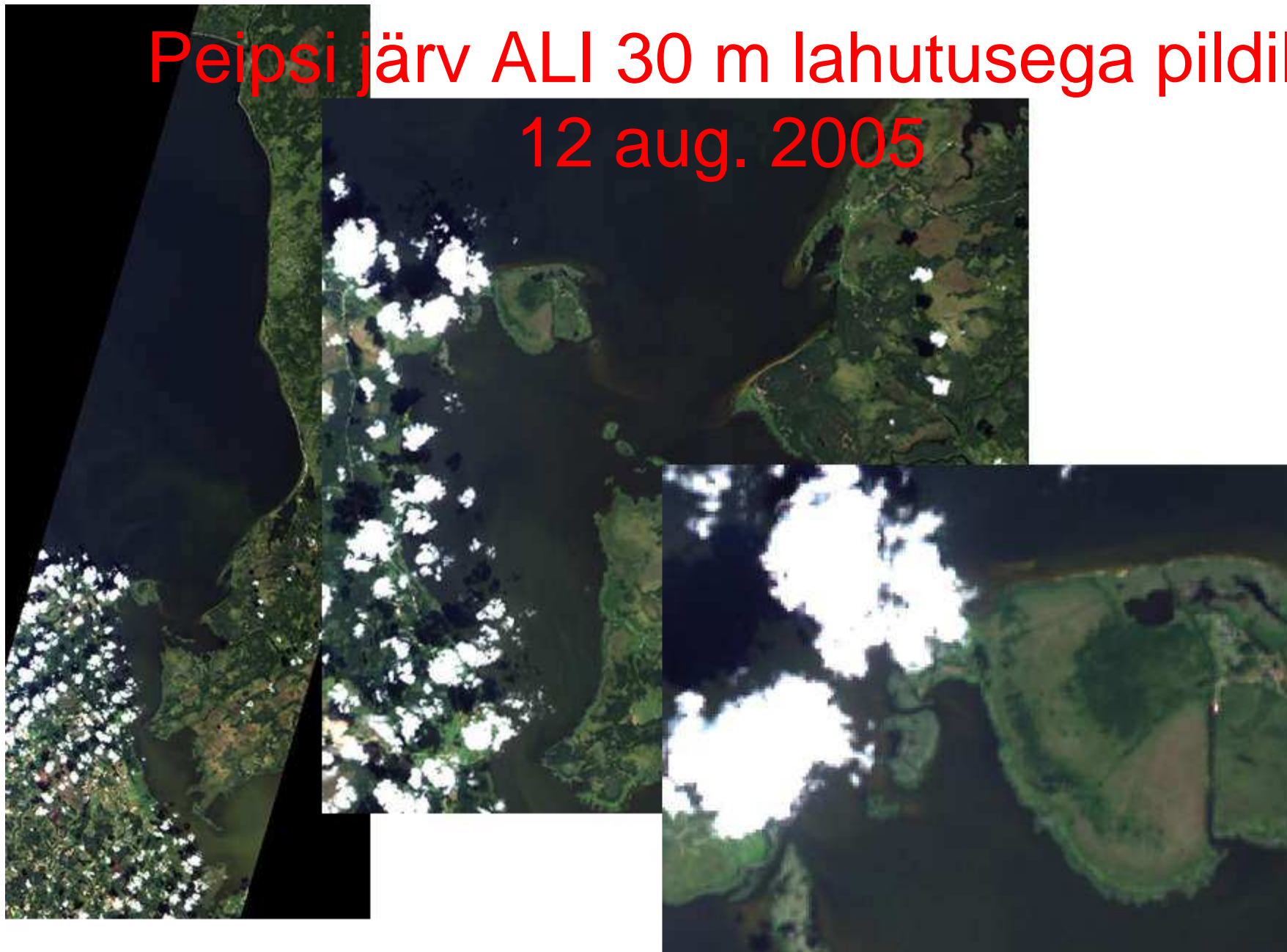


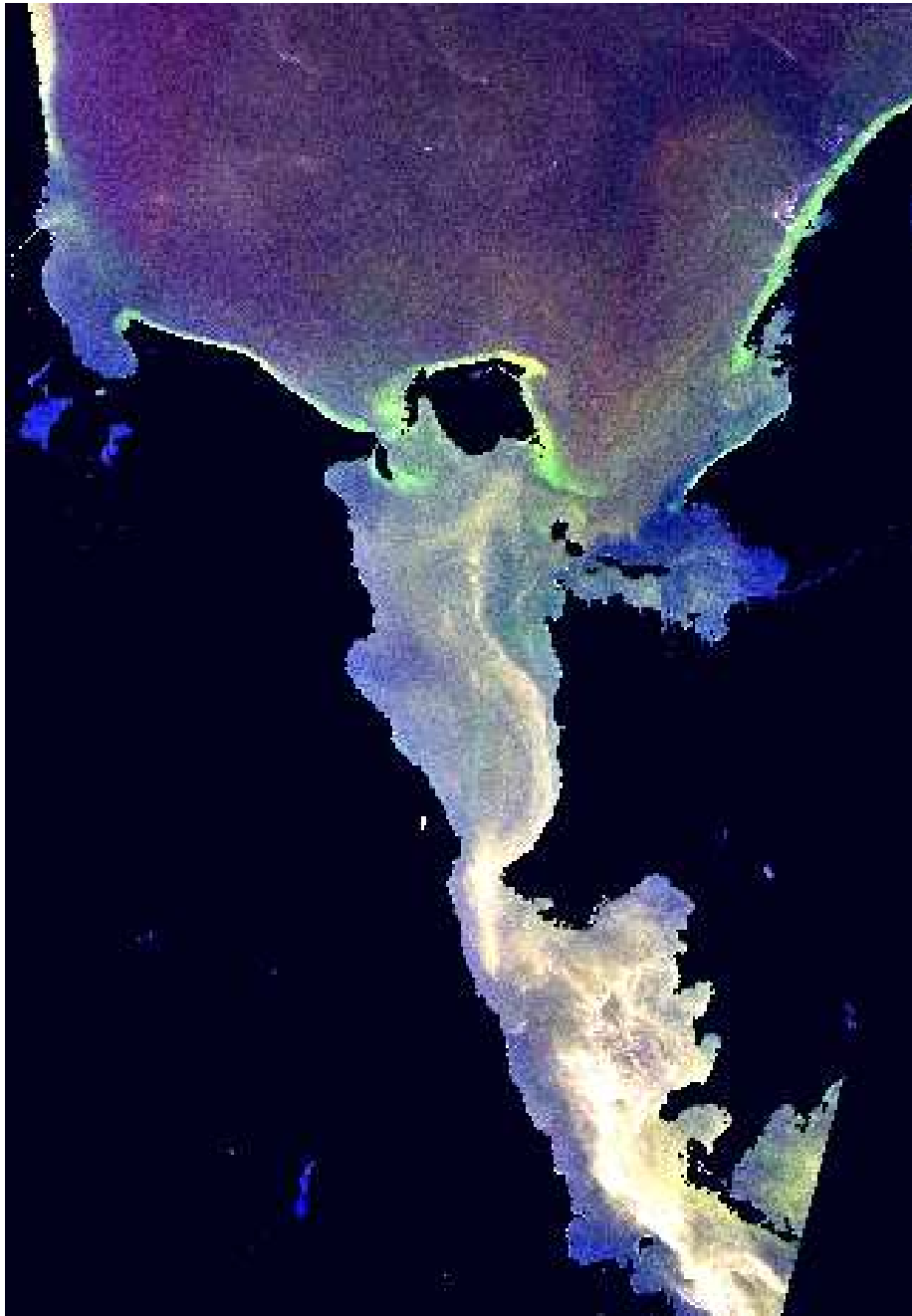


QuickBird

2,5 m lahutus

Peipsi järv ALI 30 m lahutusega pildil
12 aug. 2005



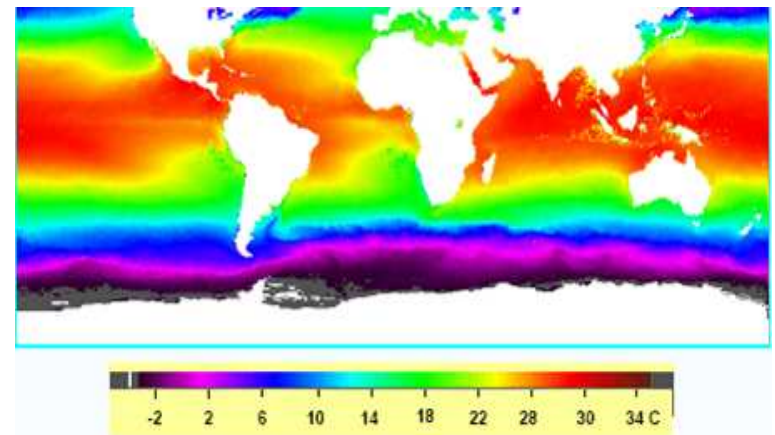
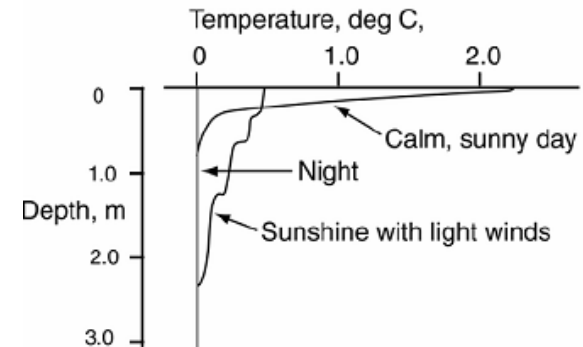


- SPOTi 10-meetrise lahutusega kujutis võimaldab uurida väikseid lahesoppe ja kitsast Lämmijärve.
- 4. juuli 2001. aasta pildil (3 kanalit) on hästi eristatav huumusainerikas vesi Suure Emajõe suudmes ning sogane ja madal vesi Lämmijärves (heledad värvid).

Veepinna temperatuuri määramine

Merepinna temperatuur on tunnistatud GCOS (*Global Climate Observing System*) poolt põhiliseks parameetriks kliima muutumise uurimisel.

- Kaugseire meetodil on võimalik veekogu temperatuuri määrata infrapunases spektriirkonnas
- Kaugseirega seirata võidakse veesamba ülemine kiht



Peipsi pinnatemperatuur, 2005 suvel



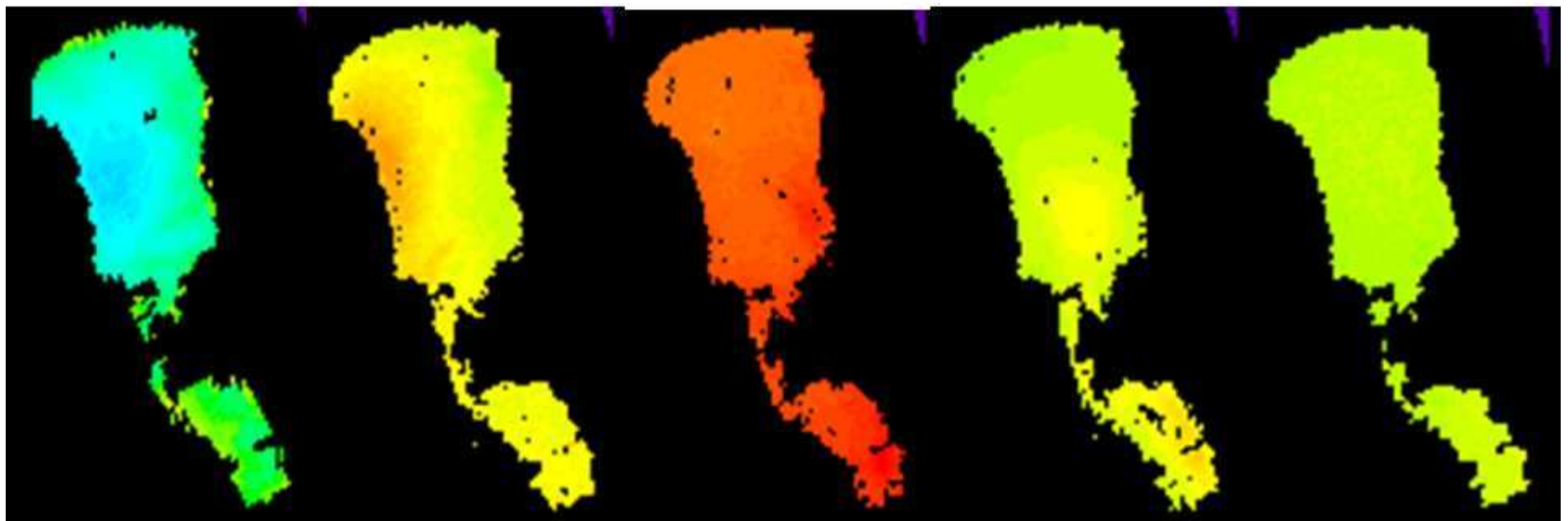
21 mai

21 juuni

16 juuli

19 aug.

7 sept.



Veekogu ulatuse määramine

- Maapinna ja vee eristamiseks parim piirkond 740-2500nm
- Vesi neelab enamuse kiirgust, paistes mustana (eelkõige kui vesi on puhas ja sügav ning puuduvad hõljum ning orgaaniline aine)



The Aral sea's surface area has shrunk by approximately 60%, and its volume by almost 80%.

1960 → 1998

fourth-largest lake → eighth-largest

area of approximately 68,000 km² → 28,687 km²

Salinity from about 10 g/l → about 45 g/l

As of 2004, the Aral Sea's surface area was only 17,160 km², 25% of its original size, and still contracting.



June 9, 2000



June 3, 2001



Banda Aceh (Sumatra, Indonesia) before tsunami

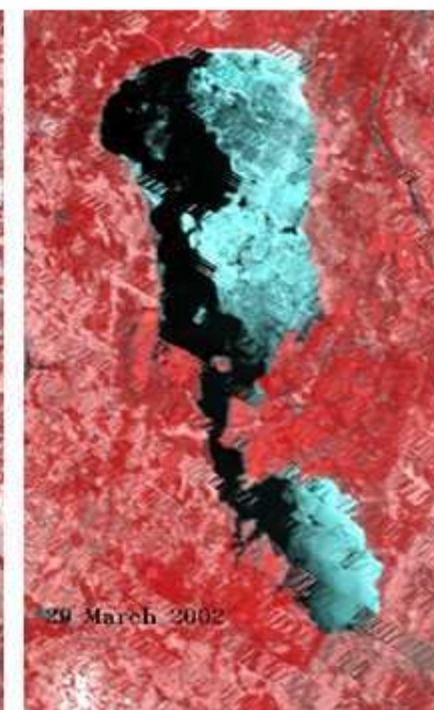
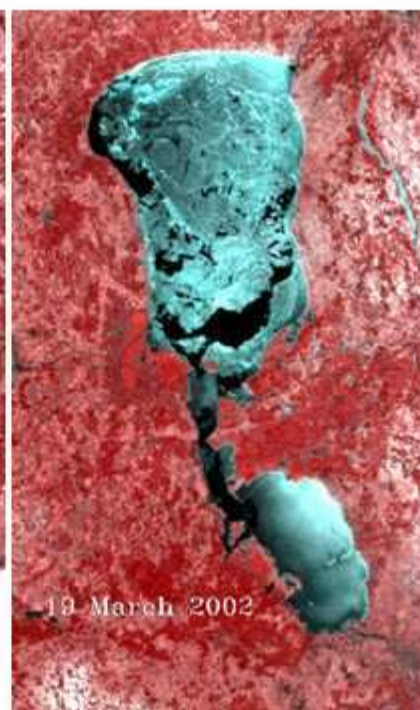
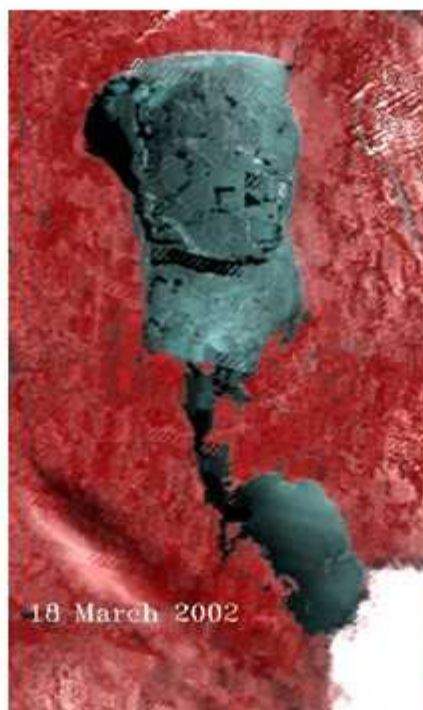
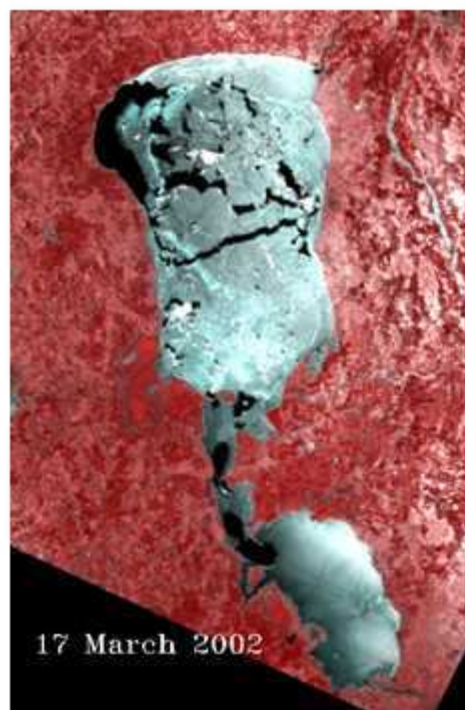
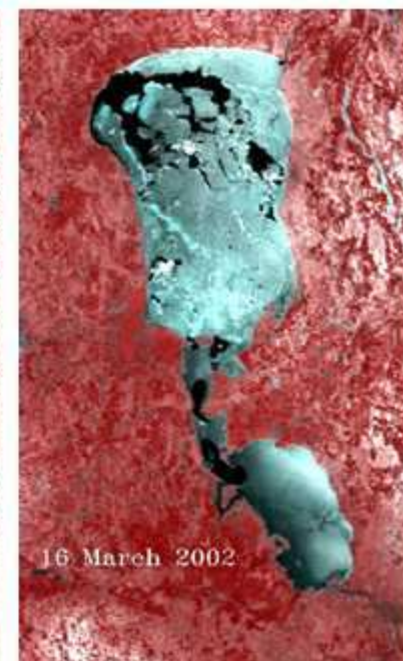
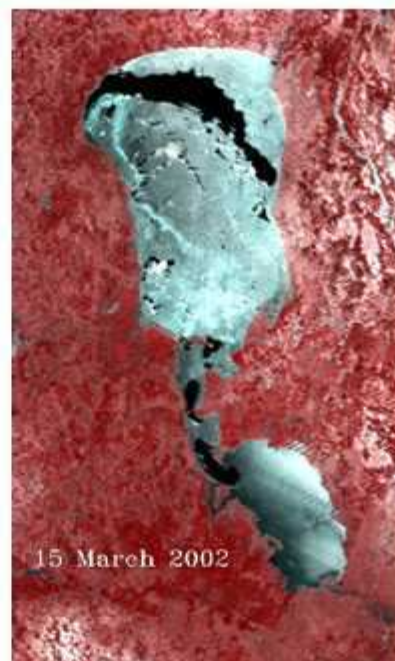
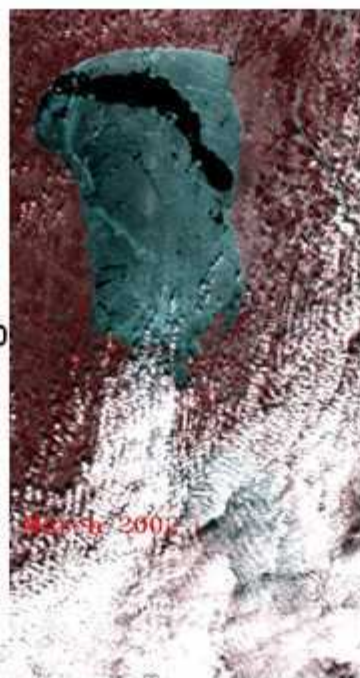
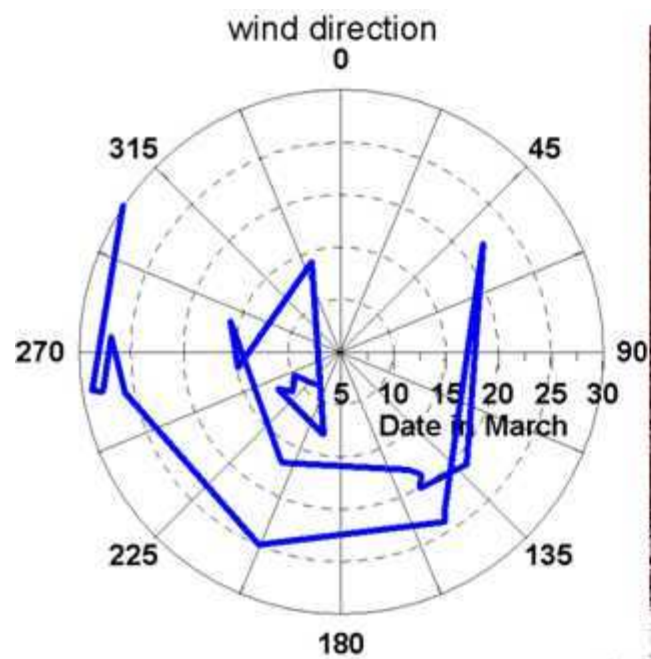
Banda Aceh after tsunami



JÄÄOLUD

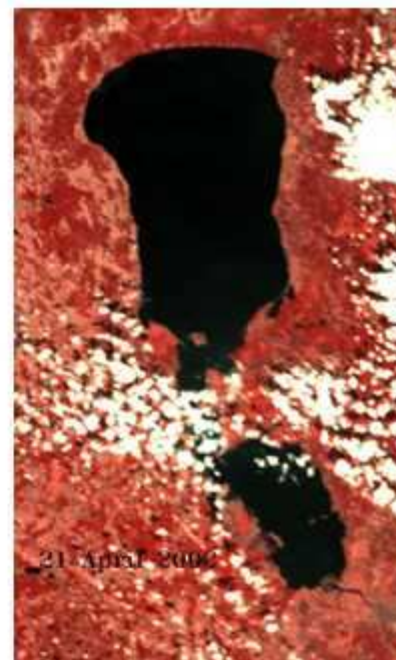
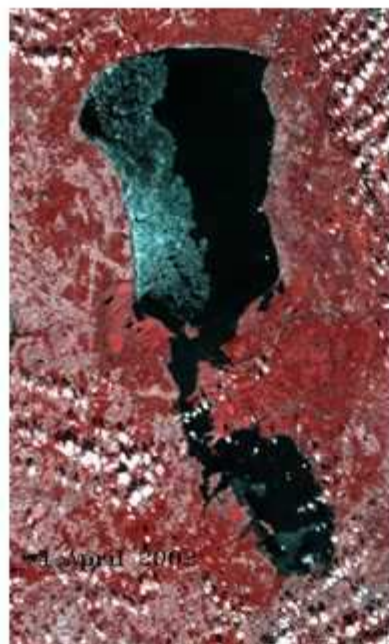
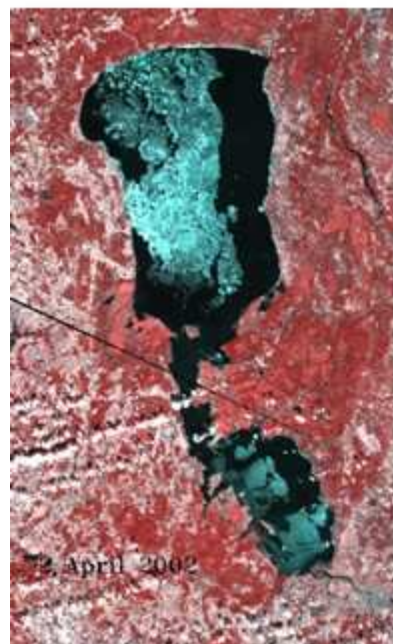
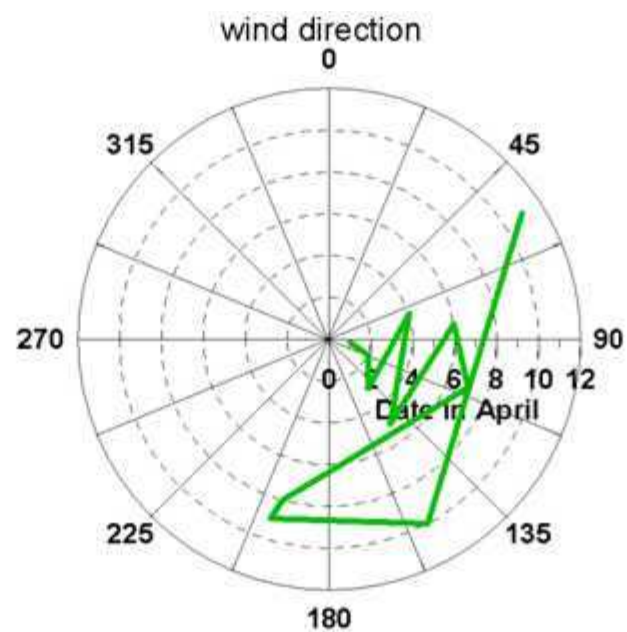
A satellite image of the Baltic Sea region, showing the coastlines of Sweden, Finland, and Poland. The sea is mostly covered in ice, with some open water visible in the southern part. The land is mostly covered in snow or ice, with some green areas visible in the south. The image is taken from a high angle, looking down at the sea.

15 märts, 2002, MODIS/Terra



M
Ä
R
T
S

A
P
R
I
L
L



Riiklikud keskkonna monitooringu ülesanded

- keskkonna saastatuse **hetkeolukorra määramine** ning analüüsimine
- **keskkonnamuutuste väljaselgitamine** abinõude rakendamiseks või täiendavaks uurimiseks
- keskkonda **mõjutavate tegurite** hindamine

Nõuded satelliit-kaugseirele

- määratavate **parameetrite** olulisus
- pikaajaline **stabiilne ja perioodiline** andmerida
- protseduuride **standardiseeritavus**
- mõistlik **hinna** ja kvaliteedi suhe

Veekaugseire rakendusi Eestis

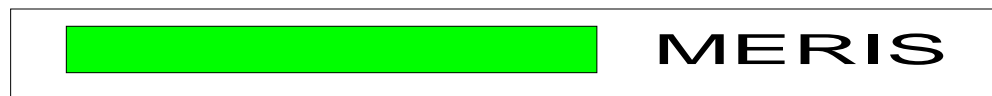
- **Veekogude seisundit hinnatakse ökoloogiliste kriteeriumite abil:**
 - *Väga hea* (inimmõju praktiliselt puudub), *Hea*, *Kesine*, *Halb* ja *Väga halb* .
- Euroopa Liiduga liitumisel võttis Eesti endale kohustuseks saavutada kõikides pinnaveekogudes aastaks 2015 „hea” vee kvaliteet vastavalt Euroopa Veedirektiivile (WFD)
- ***Kaugseire meetoditega oleksid WFD raames seiratavad järgmised parameetrid:***
 - *Temperatuur*
 - *Vee läbipaistvus*
 - *Fütoplanktoni biomass*
 - *Vetikate õitsengu sagedus ja intensiivsus*

Probleemid Eesti oludes

- Sage pilvkate
- Päike asub suhteliselt madalal isegi suvel
- Veekogud ja lähed väikesed
- Vesi sisaldab palju lahustunud orgaanilist ainet, mis teeb vee tumedaks

Veesensorid

- Vee optiliste omaduste keerukus ja seire spetsiifilisus tingis vajaduse veekogude sensori järele, milleks oli 1978 aastal orbiidile saadetud *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS).
- CZCS põhierinevusteks maapinna sensoritega võrreldes olid:
 - suurem tundlikkus (radiomeetriline lahutus);
 - madalam ruumiline lahutus;
 - erinev spektriribade asetus;
 - mõõtmispiirkonna ulatus.
- Veekogude seire sensorite rida on jätkanud SeaWifs, MODIS ja MERIS, millest viimase missiooniks on mõõta vee värvust just rannikulähedastel aladel, kus vee optilised omadused on väga varieeruvad.



MERIS/ENVISAT

Kanalite arv: **16**

Piksel :

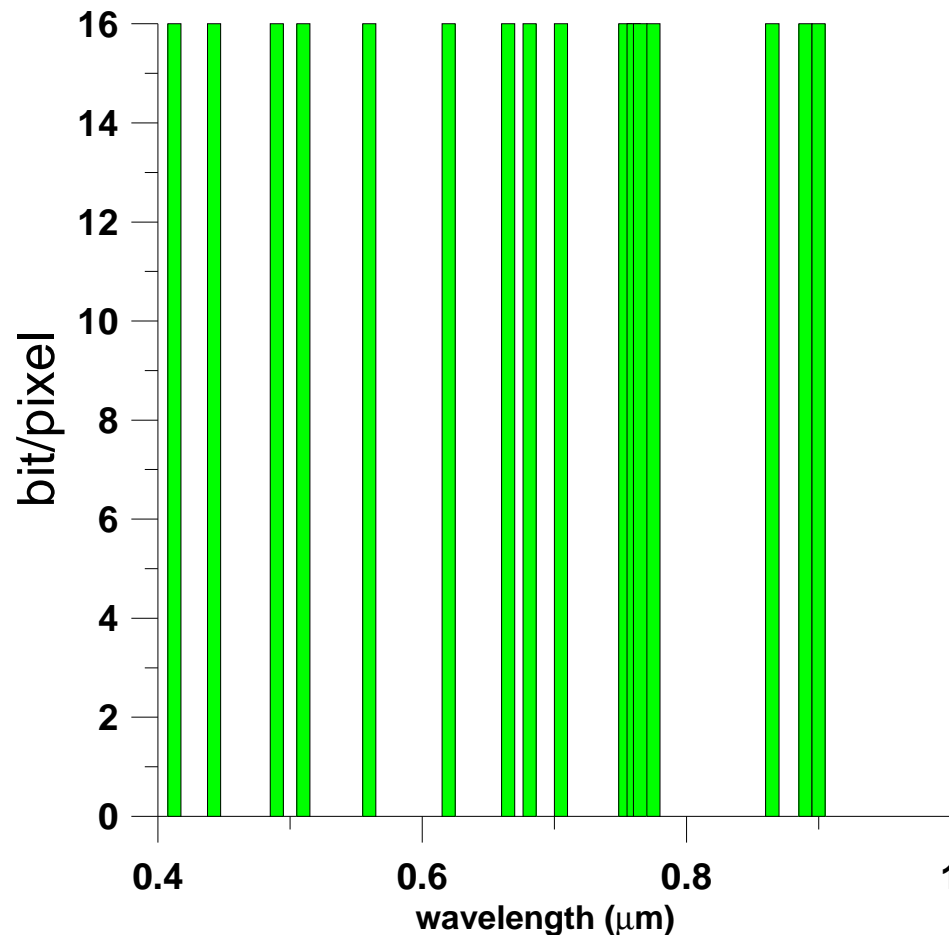
1.2 km ja 300m

Radiomeetriline
lahutus: **16bit**

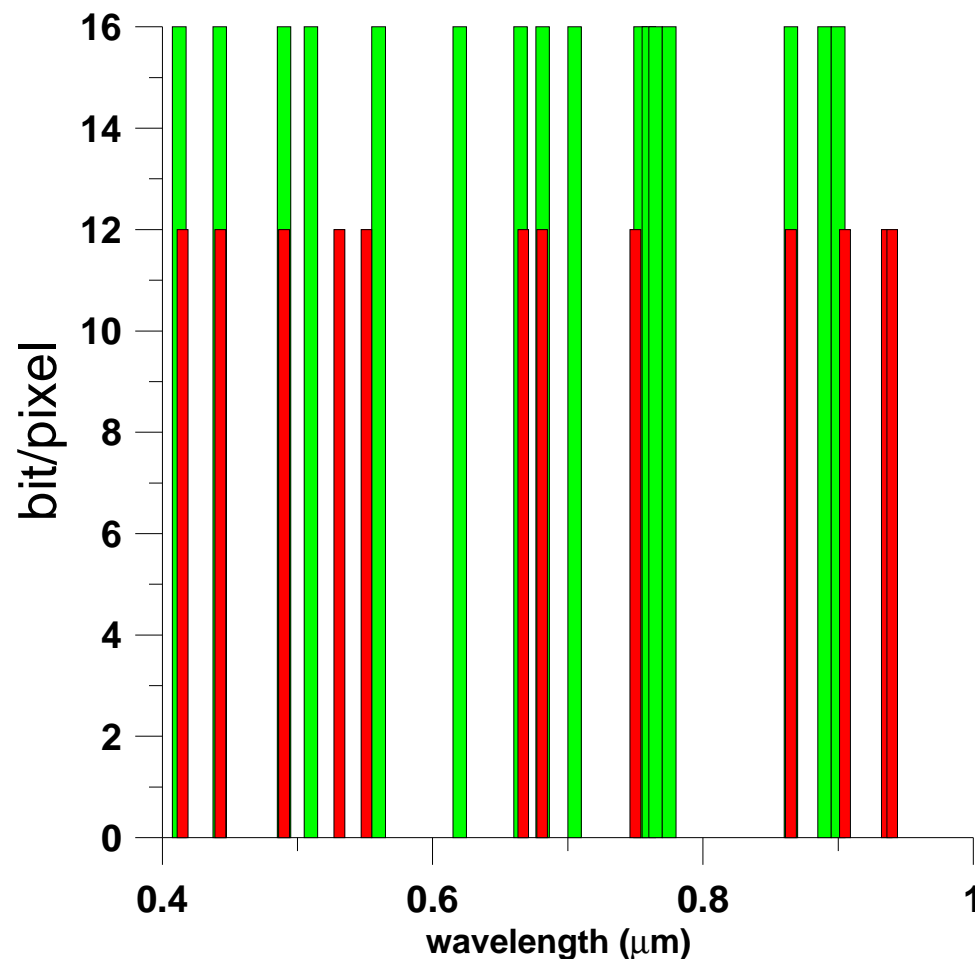
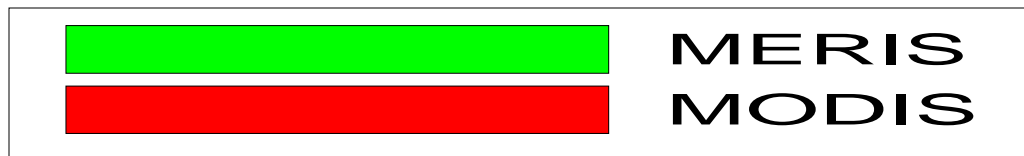
Pildi laius: **1150 km**

Andmed: **5 aastat**

15 juuni, 2002



19 august 2002 MERIS/ENVISAT



MODIS/TERRA & AQUA

Kanalite arv:

36, 5, 2

Piksel :

1.0km, 500m, 250m

Radiomeetriline

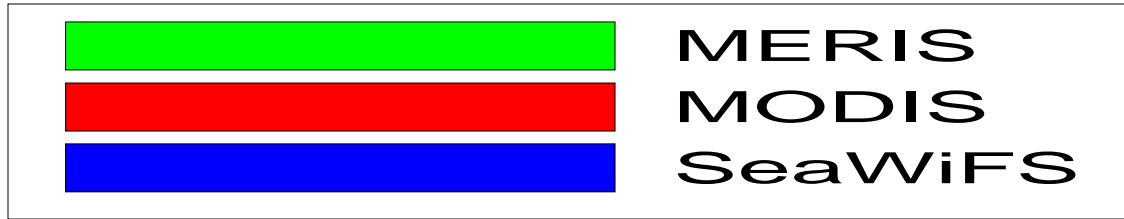
lahutus: 12bit

Pildi laius: 2330km

Andmed: 6 aastat

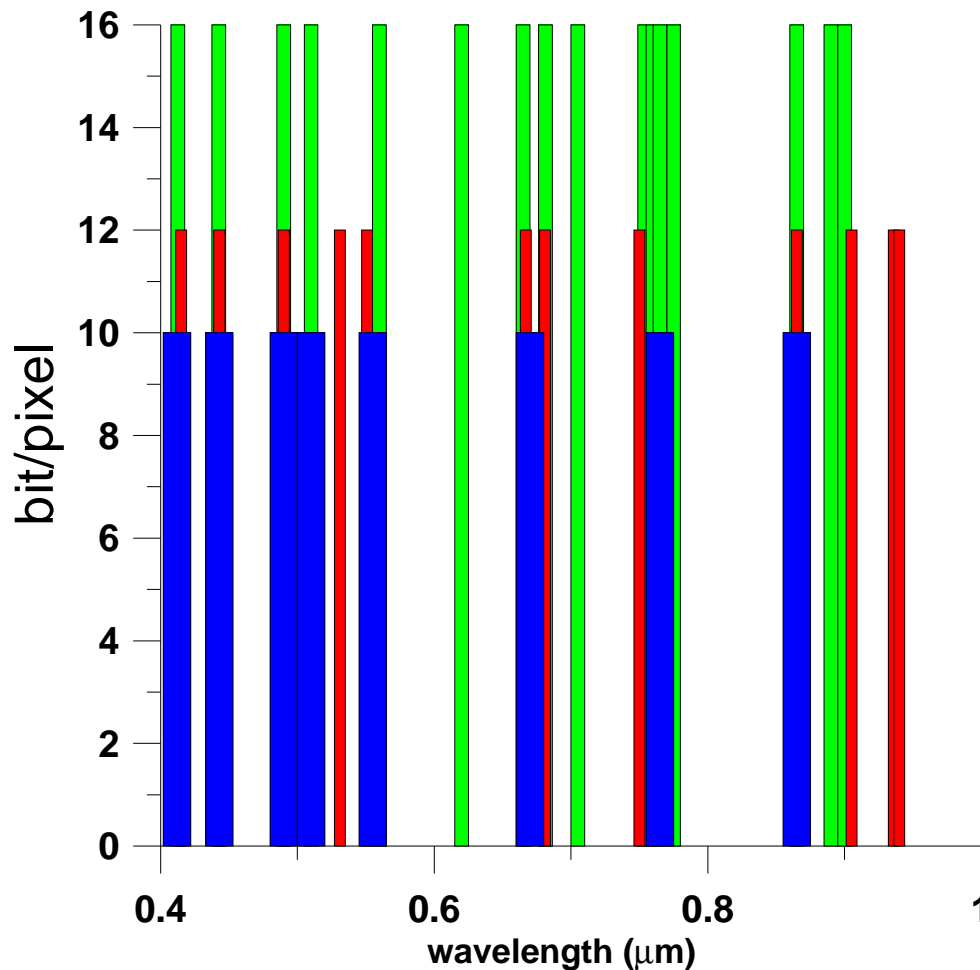
24. veebruar 2000

4. mai 2002



SeaWiFS/Orbview

Kanalite arv: 8



Piksel : 1.1km

Radiomeetriline

lahutus: 10bit

Pildi laius: 2801km

Andmed:

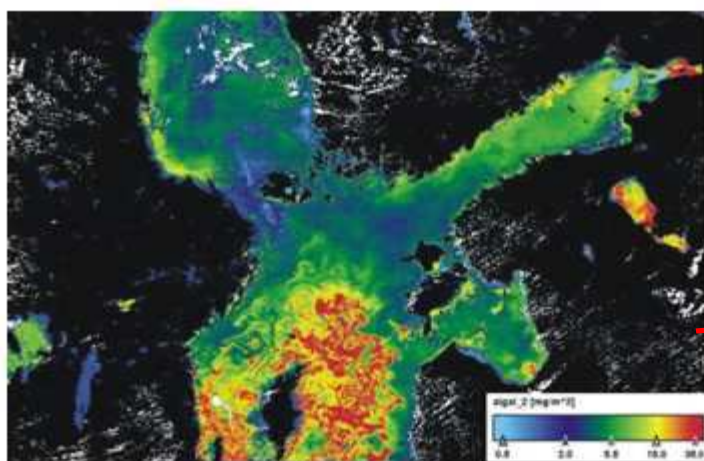
1. august 1997

31. detsember 2004



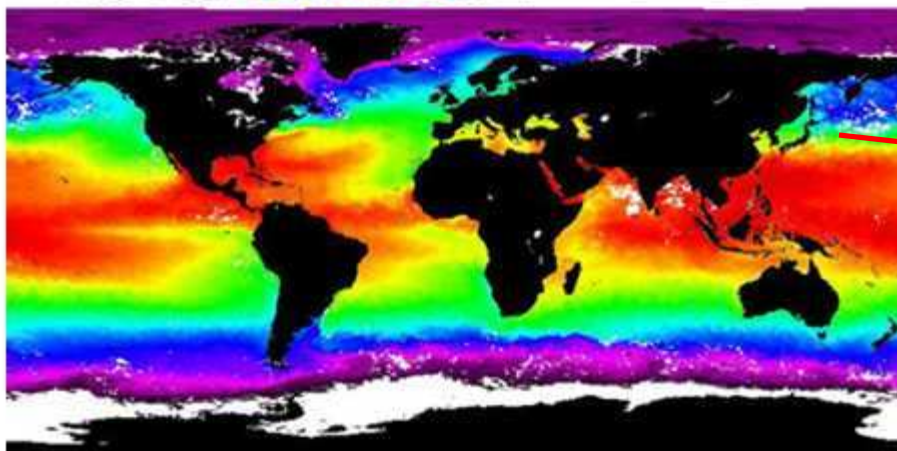
Töötluste tasemed

Tasand 0- sensori signaali salvestus



Tasand 1- kalibreeritud kiiritustihedused erinevates spektrikanalites, geolokatsioon

Tasand 2- atmosfäärikorreksiooniga geofüüsikalised tulemid



Tasand 3,4- ajalised ja ruumilised mosaiikpildid ja neist leitud uued tulemid